

TUGAS AKHIR

PENGUJIAN KEKUATAN ISOLASI PVF DAN THERMOPOX SEBAGAI BAHAN BAKU TRANSFORMATOR

(APLIKASI PT. MORAWA ELEKTRIK TRANSBUANA)

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

Pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Oleh

HALFA RAMADHANA

NPM : 0407220021



FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2010

ABSTRAK

Persoalan ini adalah salah satu dari beberapa persoalan yang terpenting dalam Teknik Tenaga Listrik pada umumnya dan Teknik Tegangan Tinggi pada khususnya. Tingkat isolasi yang akan digunakan didasarkan atas tegangan dan standar yang digunakan.

Untuk hal tersebut maka bahan isolasi perlu dilakukan pengujian. Pengujian ini dilakukan berdasarkan ketentuan standar maupun katalog yang telah ditentukan. Pengujian bahan dilakukan pada saat masih merupakan bahan baku dan setelah menjadi benda. Dalam tulisan ini bahan baku yang akan diuji adalah isolasi kawat dan isolasi kertas. Hasil pengujian jika tidak memenuhi standar akan dikembalikan pada pemasok dan jika memenuhi standar dapat dipakai oleh pabrik pembuat.

Kata kunci : *Transformator, Isolasi*

KATA PENGANTAR

Bissmillahirahmannirahim

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah atas rahmat Allah SWT yang telah memberikan hidayah, sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai guna melengkapi tugas – tugas serta memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana pada Fakultas Teknik Universitas muhammadiyah Sumatera Utara.

Aplikasi dari penulisan tugas akhir ini adalah di **PT. MORAWA ELEKTRIC TRANSBUANA** dan dengan judul **PENGUJIAN KEKUATAN ISOLASI PVF DAN THERMOPOX SEBAGAI BAHAN BAKU TRANSFORMATOR (APLIKASI PT. MORAWA ELEKTRIC TRANSBUANA).**

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini tentunya tidak terlepas dari segala hambatan dan rintangan, namun dengan adanya bantuan, bimbingan dari semua pihak, baik memberikan masukan-masukan, kritikan maupun dorongan semangat yang sangat membantu penulisan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Pada kesempatan ini saya menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda Muhammad Halilintar Arsyad dan Ibunda Fauziah Djalil yang telah memberi dorongan, baik moril maupun material, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Herbeth L. Tobing, selaku Pimpinan Perusahaan PT Morawa Elektric Transbuana.

3. Bapak Ir. Zul Arsil Siregar, selaku Dosen Pembimbing I dan Pimpinan Rutin Test PT Morawa Elektrik Transbuana.
4. Ibu Noorly Evalina ST, selaku Penasehat Akademik dan Dosen Pembimbing II Jurusan Teknik Elektro Fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang banyak memberi bimbingan dan masukan untuk kami dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Ibu Rohana ST.MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Para Staf dari PT. Morawa Elektrik Transbuana, Yang telah banyak memberi bimbingan, pengarahan, serta saran-saran, sehingga kami dapat melaksanakan kerja ini dengan baik.
8. Untuk seseorang yang istimewa yang saya sayangi Sri Rezeki Rahma S yang selalu menemani dan memberi dukungan semangat serta doa pada saat penulisan tugas akhir ini.
9. Rekan-rekan Teknik Elektro Khususnya angkatan 2004 yang tidak dapat disebut namanya satu persatu.

Hanya doa yang dapat penulis panjatkan, kiranya Allah SWT memberikan balasan atas kebaikan dari semua pihak yang tersebut diatas. Penulis menyadari bahwa isi dari penulisan ini masih jauh dari sempurna, karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan. Karenanya, kritik dan saran penulis harapkan untuk kesempurnaan tulisan ini. Akhir kata penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya.

Amin Yaa Robbal Alamin.

Medan,

November 2009

Penulis,

Halfa

Ramadhana

0407220021

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan Masalah	2
I.4. Batasan Masalah	2
I.5. Metoda Penulisan	3
I.5.1. Metode Litaratur	3
I.5.2. Metode Riset	3
I.6. Sistematika Penulisan	3

BAB II. TEORI DASAR 5

II.1. Umum 5

II.2. Arus Penguat 8

II.3. Prinsip Kerja Transformator 9

II.3.1. Inti Transformator 1

II.3.2. Rangkaian Ekuivalen Transforator 15

II.3.3. Menentukan Parameter 18

II.3.4. Rugi – Rugi Transformator 24

II.4. Rugi – Rugi Tembaga 28

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN 27

III.1. Umum 27

III.2. Bahan Isolasi dan Fungsinya 28

III.2.1. Logam dan Alloy 28

III.2.2. Keramik dan Galas 29

III.2.3. Polymer Organik 30

III.3. Sifat Bahan Isolasi Berdasarkan Karakteristik 32

III.4. Tebal Isolasi 34

III.5. Faktor Yang Mempengaruhi Ketahanan Isolasi	35
III.5.1. Pengaruh Temperatur Terhadap Tahanan Jenis	37
III.5.2. Pengaruh Sifat Dielektrik dan Kekuatan Dielektrik	41
III.5.3. Pengaruh Potensial Gradien (Medan Listrik)	44
III.6. Isolasi Kawat PVF (Polyxinyl Formadehid)	47
III.7. Konduktor Tembaga	48
III.8. Tegangan Tembus (break Down Voltage)	49
III.9. Isolasi Kertas Merek Weidmann	49
III.10. Klasifikasi Bahan Isolasi Listrik	50
III.10.1. Bahan Isolasi Kelas Y	
III.10.2. Bahan Isolasi Kelas A	51
III.10.3. Bahan Isolasi Kelas E	52
III.10.4. Bahan Isolasi Kelas B	52
III.10.5. Bahan Isolasi Kelas F	52
III.10.6. Bahan Isolasi Kelas H	52
III.10.7. Bahan Isolasi Kelas C	52
III.11. Metode Pengujian Bahan Baku	53
III.11.1. Isolasi Kawat	53

III.11.1.1. Jenis Bahan Uji	53
III.11.1.2. Alat Uji	54
III.11.1.3. Tahap Pelaksanaan Pengujian Pada Isolasi Kawat	54
III.11.1.4. Data Hasil Pengujian	58
III.11.2. Isolasi Kertas	58
III.11.2.1. Jenis Bahan Uji	59
III.11.2.2. Alat Uji	59
III.11.2.3. Tahap Pelaksanaan Pengujian Pada Isolasi Kertas	59
III.11.2.4. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Kertas	60
BAB IV. ANALISA HASIL PENGUJIAN	61
IV.1. Analisa Hasil Pengujian Isolasi Kawat	61
IV.1.1. Analisa Hasil Pengujian Tahanan Kawat	61
IV.1.2. Analisa Pengujian Konduktivitas	66
IV.1.3. Analisa Hasil Pengujian Break down	
IV.2. Analisa Pengujian Isolasi Kertas	71
IV.2.1. Analisa Hasil Pengujian Break Down	71

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	72
--	-----------

V.1. Kesimpulan	72
-----------------------	----

V.2. Saran	74
------------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

TABEL KETERANGAN

Tabel 3.1.	Harga – Harga Konstanta Dari Jenis Kawat Tembaga Dan Aluminium	40
Tabel 3.2.	Konstanta Dielektrik Serta Kekuatan Dielektrik Suatu Bahan Dielektri	44
Tabel 3.3.	Sifat –Sifat Isolasi Jenis PVF	48
Tabel 3.4.	Klasifikasi Bahan Isolasi Plastik	51
Tabel 3.5.	Nilai – Nilai Konstanta Konduktor Jenis Tembaga Dan Aluminium	57
Tabel 3.6.	Data Dimensi Konduktor	58
Tabel 3.7.	Data Tahanan	58
Tabel 3.8.	Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Kertas	60
Tabel 4.1.	Harga Koefisien Temperature Tahanan Kawat Tembaga	62
Tabel 4.2.	Tahanan Kawat Pada 20°C dan 75°C	65

Tabel 4.3.	Konduktivitas (%)	68
Tabel 4.4.	Batas Minimum Tegangan Tembus Untuk Kelas 0	69
Tabel 4.5.	Hasil Analisa Pengujian Isolasi Kawat	70

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	KETERANGAN	
Gambar II.1.	Rangkaian Transformator	5
Gambar II.2.	Rangkaian Arus Penguat Transformator	8
Gambar II.3.	Hukum Kaidah Tangan Kanan	10
Gambar II.4.	Belitan Cangkang	14
Gambar II.5.	Belitan Inti	15
Gambar II.6.	Rangkaian Ekuivalen Transformator Beban Nol	15
Gambar II.7.	Vektor Diagram Transformator Beban Nol	16
Gambar II.8.	Rangkaian Trnsformator Berbeban	17

Gambar II.9.	Rangkaian Pengukuran Beban Nol	18
Gambar II.10.	Inti Transformator Yang Dilalui Fluksi Magnet	21
Gambar II.11.	Rangkaian Pengukuran Hubung Singkat	23
Gambar II.12	Struktur Trafo	26
Gambar III.1.	Medan Magnet Seragam	46
Gambar III.2.	Potongan Konduktor Tembaga	53

BAB I

PENDAHULUAN

I. I. Latar Belakang Masalah

Perkembangan industri di Indonesia mengalami kemunduran ditahun - tahun terakhir ini. Dikarenakan belum stabilnya perekonomian di Indonesia maka banyak pula masalah yang timbul sehingga banyak perusahaan yang ditutup. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu diadakan perbaikan mutu terhadap suatu produk industri guna mengetahui sifat-sifat bahan yang produksi agar hasil suatu prouduk dapat digunakan sesuai daengan kualitas menurut standar nasional dan internasional.

Disamping hal tersebut hasil pengujian dan perbandingan kekuatan suatu bahan juga bermanfaat mencegah timbulnya bahaya terhadap diri manusia dan lingkungan sekitarnya, yang disebabkan tembusnya (break down) isolasi konduktor (kawat) dan isolasi kertas pada transformator.

Untuk itu, sebaiknya setiap bahan-bahan hasil produk industri sebelum digunakan sebagai bagian dari peralatan misalnya untuk suatu kawat dan kertas pada transformator harus diuji dan dibandingkan kekuatannya berdasarkan standart-standart yang ditentukan. Hal ini bertujuan agar bahan-bahan tersebut dapat diketahui sifat-sifat dielektriknya dan dari hasil pengujian. Maka dapat diambil suatu keputusan apakah bahan itu dapat dipergunakan atau ditolak kembali ke pemasok.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan diatas ternyata permasalahan yang akan dianalisa dapat dirumuskan sebagai berikut :

Bagaimana cara pengujian untuk mengetahui perbandingan kekuatan isolasi kawat dan isolasi kertas pada transformator di PT. MORAWA ELEKTRIC TRANSBUANA.

I.3. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan ini adalah untuk mengetahui seberapa besar kekuatan sifat dielektrik suatu bahan isolasi kawat dan isolasi kertas yang didasarkan dengan melakukan pengujian terhadap bahan tersebut.

I.4. Batasan Masalah

Mengingat banyaknya masalah yang dijumpai pada perbandingan kekuatan isolasi kawat dan isolasi kertas pada transformator.

Dalam pengujian ini hanya membahas masalah isolasi PVF (Polivinil Formaldehid) dan isolasi kertas merak wedmann jenis thermopox pada transformator.

I.5. Metode Penulisan

I.5.1. Metode Literatur (perpustakaan)

Penulisan melakukan studi teoritis di perpustakaan untuk mendapatkan bahan - bahan teori yang dibutuhkan dalam menyusun Tugas Akhir ini.

I.5.2. Metode Riset

Penulisan melakukan riset di PT. MORAWA ELEKTRIC TRANSBUANA untuk mendapatkan bahan yang dibutuhkan dalam menyusun Tugas Akhir ini.

I.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang akan dipakai agar mencerminkan isi dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini mencakup latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, metoda penulisan, sistematika penulisan.

- **BAB II TEORI DASAR**

Bab ini berisikan tentang teori - teori Transformator Distribusi.

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisikan tentang teori - teori osolasi, serta isolasi kawat dan kertas pada tranformator, dan metode pengujian dari pada isolasi PVF dan THERMOPOX.

- BAB IV ANALISA HASIL PENGUJIAN

Bab ini berisikan tentang analisa pengujian perbandingan kekuatan isolasi PVF dan THERMOPOX dengan menggunakan pengujian Break Down pada transformator di PT. MORAWA ELECTRIC TRANSBUANA.

- BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil studi yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

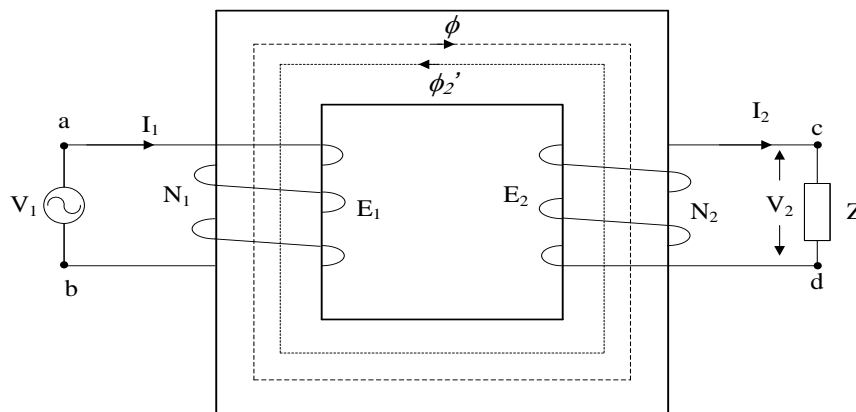
BAB II

TEORI DASAR

II.1. Umum

Transformator adalah suatu peralatan listrik statis yang berfungsi memindahkan dan mengubah tegangan listrik bolak-balik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu rangkaian gandingan magnet untuk menaikkan atau menurunkan tegangan dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

Transformator bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik, yang berdasarkan prinsip hukum Faraday, dan mengubah tegangan keluaran berdasarkan perbandingan belitan antara kumparan primer dan kumparan sekunder. Besar tegangan yang dibangkitkan berbanding lurus dengan banyaknya jumlah belitan pada sisi keluaran.



Gambar II.1 Rangkaian Transformator

Diantara lempengan besi dipisahkan dengan isolasi sehingga lempeng besi yang satu dengan yang lainnya tidak menghantar arus listrik. Tujuan lempengan besi ini pada inti trafo adalah

untuk mereduksi rugi-rugi pada inti trafo terdiri dari rugi Magnetis dan rugi arus Eddy, dengan konstruksi inti besi berupa lempeng-lempeng yang terisolasi akan memperkecil rugi arus Eddy yang sangat drastis.

Perubahan tegangan pada out - put bergantung pada ratio dari jumlah gulungan primer dengan gulungan sekundernya. Jumlah gulungan primer adalah N_1 dan gulungan sekunder N_2 selanjutnya untuk trafo ideal ratio gulungan dan tegangan *out - put* adalah :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} = a \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

E_1 = Tegangan induksi primer (volt)

E_2 = Tegangan induksi sekunder (volt)

N_1 = jumlah gulungan primer.

N_2 = jumlah gulungan sekunder.

I_1 = Arus belitan primer (ampere)

I_2 = Arus belitan sekunder (ampere)

k = Ratio, yaitu perbandingan belitan dengan tegangan

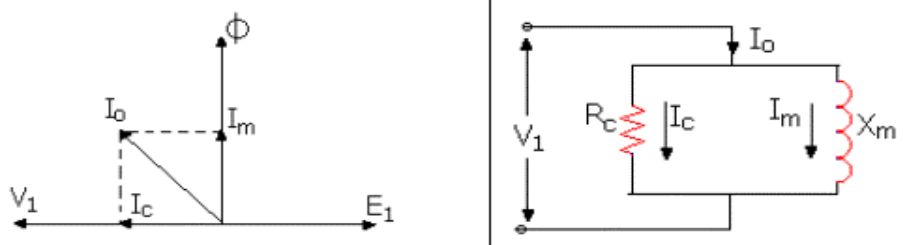
Komponen yang menerima energi listrik adalah komponen primer dan komponen yang memberikan energi listrik ke beban adalah sekunder. Bila komponen primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, akan timbul fluksi bolak-balik yang amplitudo tergantung pada tegangan primer dan jumlah lilitan primer.

Fluksi bersama akan timbul menghubungkan komponen yang lain, yaitu komponen sekunder akan menginduksikan tegangan didalamnya, yang nilainya tergantung pada jumlah lilitan sekunder dengan pertimbangan jumlah lilitan primer dan sekunder yang tepat, hampir semua perbandingan tegangan atau perbandingan transformasi (*ratio of transformation*) yang diinginkan dapat diperoleh.

Transformator digunakan secara luas didalam sistem tenaga listrik memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dengan tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang elektronika transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban, untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian lain, untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian.

II.2. Arus Penguat

Arus primer I_0 yang mengalir pada saat kumparan sekunder tidak dibebani disebut arus penguat. Dalam kenyataannya arus primer I_0 bukanlah merupakan arus induktif murni, hingga ia terdiri atas dua komponen (Gambar II.2):



Gambar II. 2 Rangkaian arus penguat transformator

- (1) Komponen arus pemagnetan I_M , yang menghasilkan fluks (Φ). Karena sifat besi yang non linier (ingat kurva B-H), maka arus pemagnetan I_M dan juga fluks (Φ) dalam kenyataannya tidak berbentuk sinusoidal
- (2) Komponen arus rugi tembaga I_C , menyatakan daya yang hilang akibat adanya rugi histeris dan 'arus eddy'. I_C sefasa dengan V_1 , dengan demikian hasil perkaliannya ($I_C \times V_1$) merupakan daya (watt) yang hilang.

II.3. Prinsip Kerja Transformator

Yang sangat mendasar dari prinsip kerja transformator ini adalah perpaduan hukum-hukum dasar tenaga listrik, yaitu :

Hukum Faraday

Bila magnet berubah-ubah terhadap waktu akibat arus bolak-balik, suatu medan listrik akan dibangkitkan (diinduksikan) medan magnet atau fluksi yang berubah-ubah terhadap inti besi menghasilkan GGL yang berbanding lurus dengan banyaknya lilitan.

$$E = -N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

Hukum Ampere

Bahwa integral keliling kuat medan magnet berbanding lurus dengan besarnya arus listrik yang berhubungan oleh integral keliling tersebut.

$$\oint H dL = \oint E dA \dots\dots\dots(2.3)$$

Hukum Lenz

Arah arus induksi dalam suatu penghantar selalu menghasilkan medan magnet yang menentang sebab-sebab yang menimbulkannya.

Hukum Ohm

Kuat arus berbanding lurus dengan GGL dan berbanding terbalik dengan jumlah hambatan pada rangkaian seluruhnya.

$$\sum E = \sum I \cdot R \dots\dots\dots(2.4)$$

Hukum Kaidah Tangan Kanan



Gambar II.3. Hukum kaidah tangan kanan

Bila arus listrik mengalir pada suatu penghantar yang diletakkan dalam suatu lilitan maka ibu jari tangan kanan akan menunjukkan arah arus dan jari-jari yang digenggam akan menunjukkan arah garis gaya listrik (kuat medan).

Dari hukum-hukum dasar tersebut diperoleh prinsip kerja dari transformator, yaitu apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan maka akan mengalir arus bolak-balik I_1 pada kumparan tersebut. Oleh karena itu kumparan terletak pada inti, arus I_1 akan menimbulkan ϕ_1 (fluks magnet) yang berubah-ubah terhadap intinya. Akibat adanya fluksi magnet yang berubah-ubah pada kumparan primer akan timbul GGL induksi E_1 . Besarnya induksi pada kumparan primer adalah

$$E_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \text{ (Volt)(2.5)}$$

Dimana :

E_1 = GGL induksi pada komponen primer (Volt)

N_1 = Jumlah lilitan kumparan primer

dt = Perubahan waktu dalam satuan detik

$d\phi$ = Perubahan garis gaya magnet (weber)

Fluksi magnet yang menginduksi GGL induksi E_1 juga dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluksi bersama. Dengan demikian fluksi tersebut menginduksikan GGL induksi E_2 pada kumparan sekunder, dimana besar GGL induksi kumparan sekunder adalah :

$$E_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \text{ (Volt)(2.6)}$$

Dimana :

E_2 = GGL induksi pada kumparan sekunder (Volt)

N_2 = Jumlah lilitan sekunder

Fluksi pada saat t dinyatakan dengan persamaan $\phi(t) = \phi_{max} \sin \omega t$ sehingga GGL induksi pada kumparan primer adalah fluksi yang sinusoidal ini menghasilkan induksi E_1 (hukum Faraday).

$$\begin{aligned}
 E_1 &= -N_1 \frac{d\phi}{dt} \\
 &= -N_1 \left\{ \frac{d(\phi_{max} \sin \omega t)}{dt} \right\} \\
 &= -N_1 \omega \phi_{max} \cos \omega t \text{ (tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \phi)
 \end{aligned}$$

$$\cos \omega t = \cos 2\pi f t$$

$$\text{Harga efektifnya } E_1 = \frac{N_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot \phi_{maks}}{\sqrt{2}} = 4,44 N_1 \cdot f \cdot \phi_{maks}$$

pada rangkaian sekunder, fluksi (ϕ) bersama tersebut menimbulkan :

$$\begin{aligned}
 E_2 &= -N_2 \frac{d\phi}{dt} \\
 &= -N_2 \omega \phi_{max} \cos \omega t \dots\dots\dots(2.7)
 \end{aligned}$$

$$\text{Jika : } E_2 = 4,44 N_2 f \phi_{max}$$

Sehingga :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan mengabaikan rugi-rugi tahanan dan adanya fluksi bocor, untuk trafo ideal berlaku :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} = k \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

k = Merupakan perbandingan transformasi

Dalam hal ini tegangan induksi E_1 mempunyai besaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber V_1 . Apabila $k < 1$, maka transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (*step up trafo*) dan jika $k > 1$, maka transformator berfungsi sebagai penurunan tegangan (*step down trafo*).

II.3.1. Inti Transformator

Transformator terdiri dari pada sebuah inti (*core*) yang terbuat dari laminasi-laminasi baja silikon yang berisolasi dimana padanya dililitkan dua atau lebih kumparan. Kumparan yang dihubungkan dengan tegangan pemasok (*supply*) disebut kumparan primer dan kumparan lainnya yang biasa dihubungkan dengan beban disebut kumparan sekundernya.

Kumparan primer yang disambungkan kepada sumber tegangan tadi akan menghasilkan (GGL) yang arahnya berlawanan dan membatasi arus yang diambil dari sumber. Fluksi tadi akan membangkitkan GGL pada sisi sekunder.

Gaya gerak listrik inilah yang menimbulkan arus beban. Dengan demikian terjadi suatu perpindahan daya listrik dengan cara elektromagnetis dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Pada transformator untuk menaikkan tegangan (*step-up*) jumlah lilitan sekunder lebih banyak jumlahnya dari pada kumparan primer, sebaliknya pada transformator untuk menurunkan tegangan (*step-down*) jumlah lilitan sekunder lebih sedikit dari pada jumlah lilitan pada kumparan primer.

Inti transformator adalah bagian tempat lewat fluksi. Bersama inti transformator ini biasanya terbuat dari lempengan besi yang berguna untuk mengurangi rugi-rugi hysteresis dan eddy current.

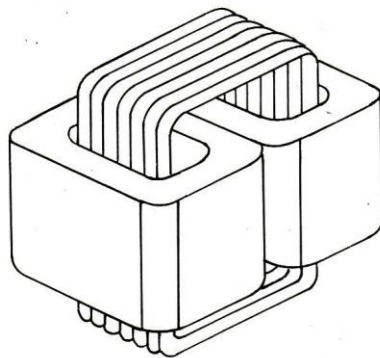
Rugi-rugi hysteresis berhubungan dengan bahan yang dipakai sedangkan rugi-rugi eddy current yang berhubungan dengan ketebalan menurut konstruksi inti transformator dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu :

1. Belitan cangkang (*shell type*)
2. Belitan inti (*core inti*)

Laminasi besi/baja yang merupakan sirkuit magnetis dapat dibuat konstruksinya dengan bermacam-macam cara terhadap kumparannya.

1. BELITAN CANGKANG (*SHELL TYPE*)

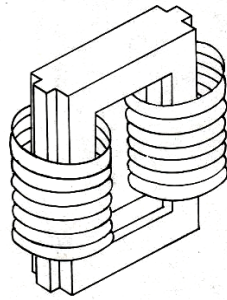
Dalam jenis cangkang ini, kumparan dililit disekitar kaki tengah dari inti berkaki tiga.



Gambar II. 4. Belitan Cangkang

2. BELITAN INTI (*CORE TYPE*)

Transformator type ini dimaksudkan untuk mengurangi kerugian oleh arus pusar didalam inti. Rangkaian magnet ini biasanya terdiri dari sekelompok lapisan tipis.



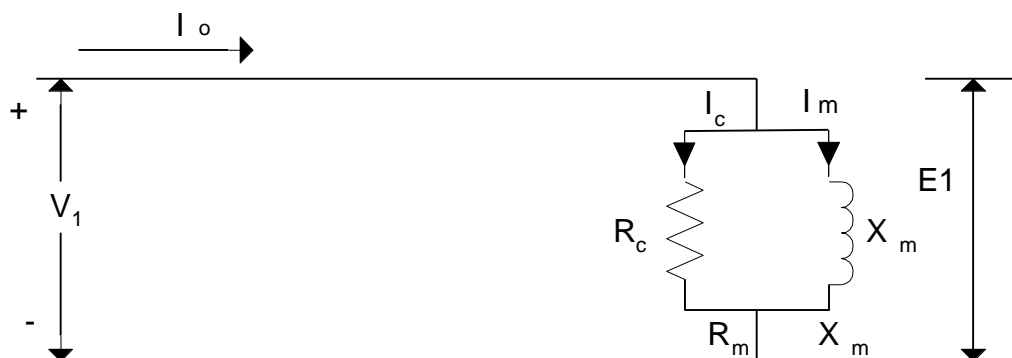
Gambar II. 5. Belitan Inti

II.3.2. Rangkaian Ekivalen Transformator

Rangkaian Ekivalen suatu transformator dapat digambarkan dan diuraikan dalam dua keadaan, yaitu :

- **Dalam Keadaan Beban Nol**

Rangkaian Ekivalen Transformator beban nol, dapat dilihat seperti pada Gambar II. 6 dibawah ini.



Gambar II.6. Rangkaian ekivalen transformator beban nol

Dari gambar dapat diambil persamaan :

$$I_o = I_c + I_m$$

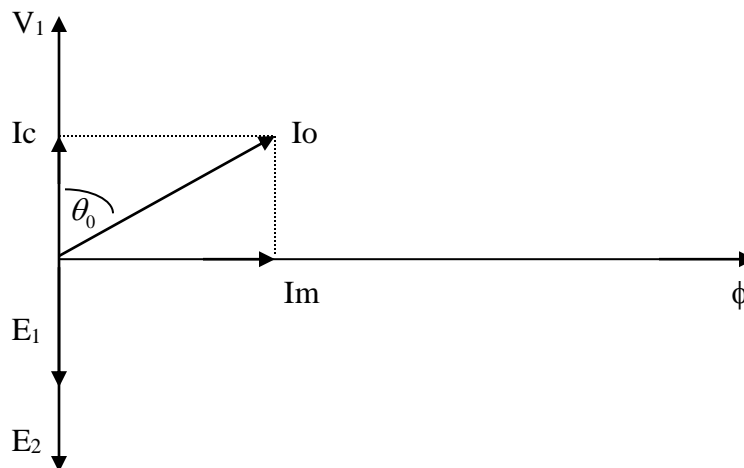
$$V_1 = E_1 + I_0 \cdot Z_0$$

$$Z_0 = R_c + j X_m$$

Untuk menggambarkan vektor diagram transformator beban nol, perlu diketahui :

- Komponen arus rugi-rugi besi I_c menyatakan daya yang hilang akibat adanya arus eddy, dimana I_c setara dengan V_1 , maka dihasilkan $I_c \cdot V_1$ merupakan daya yang hilang dalam satuan watt.
- Komponen arus pemagnetan adanya rugi-rugi hysteresis I_m yang menghasilkan fluksi tertinggal 90° dari tegangan V_1 .

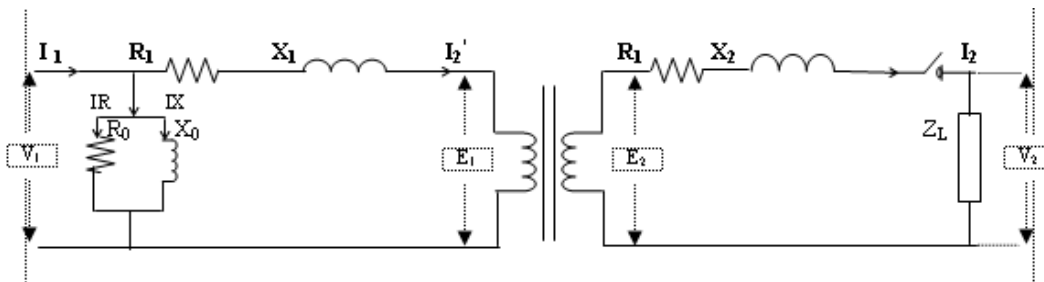
Dengan demikian dapat digambarkan Vektor diagramnya, seperti gambar dibawah ini.



Gambar II. 7. Vektor diagram transformator beban nol

- Dalam Keadaan Berbeban**

Apabila kumparan skunder dihubungkan dengan Z_L , I_2 mengalir pada kumparan skunder, dimana $I_2 = V_2/Z_L$ dengan $\phi_2 =$ faktor kerja beban.



Gambar II.8 Rangkaian transformator berbeban

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluksi (ϕ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_m .

Agar fluksi bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir I_2' , yang menentang fluksi yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 hingga keseluruhan arus mengalir pada kumparan primer menjadi

$$I_1 = I_0 + I_2' \dots\dots\dots(2.10)$$

Bila rugi-rugi besi diabaikan (I_c atau I_w diabaikan) maka $I_0 = I_m$ atau I_μ

$$I_1 = I_m + I_2' \dots\dots\dots(2.11)$$

Untuk menjaga agar fluksi tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh pemagnetan I_m saja, berlaku hubungan.

$$N_1 I_m = N_1 I_1 + N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Karena nilai I_m dianggap kecil $I_2' = I_1$ jadi

$$N_1 I_m = N_2 I_2 \text{ atau } I_1/I_2 = N_2/N_1 \dots\dots\dots(2.13)$$

II.3.3. Menentukan Parameter

Rangkaian transformator yang terdapat pada model rangkaian (Rangkaian ekivalen) R_c , X_m , R_{ek} , dan X_{ek} , dapat ditentukan besarnya dengan dua macam pengukuran (test) berikut :

1. Pengukuran Beban Nol

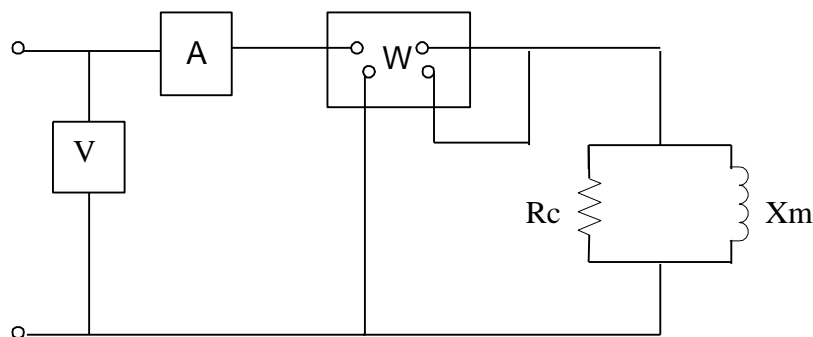
Dalam pengukuran tanpa beban bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 , maka hanya I_0 yang mengalir.

Dari pengukuran daya yang masuk (P_1), arus I_0 dan tegangan V_1 ; akan diperoleh harga :

$$R_c = \frac{V_1^2}{P_1}$$

$$Z_0 = \frac{V_1}{I_0} = \frac{jX_m R_c}{R_c + jX_m}$$

dengan demikian dari pengukuran beban nol dapat diketahui harga R_c dan X_m



Gambar II.9. Rangkaian pengukuran beban nol

Pengujian beban nol dilakukan untuk menentukan rugi-rugi inti dan beban nol, dimana rugi-rugi inti terdiri dari rugi hysteresis dan rugi arus eddy.

- Rugi-rugi Hysteresis yaitu rugi-rugi yang disebabkan fluksi bolak-balik pada inti besi, yang besarnya adalah :

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^x \text{ (watt)} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

K_h = Koefisien hysteresis untuk setiap material inti (joule/m³)

Bm = Rapat fluksi maksimum (wb/m³)

F = Frekuensi sumber energi listrik (c/s)

x = Konstanta yang harganya tergantung dari jenis inti trafo untuk baja carbon.

x = 1,5 – 2,5 dan biasanya diambil 1,6

Untuk menentukan harga Bm ditentukan rumus :

$$B_m = \frac{V_1}{4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot A} \text{ wb/m}^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

N₁ = Jumlah lilitan sekunder

A = Luas penampang inti

Persamaan 14 disubstitusikan kepersamaan 15 didapat :

$$\begin{aligned} P_h &= \frac{k h V_1^x}{(4,44 \cdot N_1 \cdot A)^x \cdot f^x} \\ &= \frac{k h V_1^x}{(4,44 \cdot N_1 \cdot A)^x \cdot f^{x-1}} \end{aligned}$$

$$P_h = k \frac{V_1}{f^{x-1}} \quad \text{Dimana : } k = \frac{k h}{(4,44 \cdot N_1 \cdot A)^x}$$

Jadi besar rugi-rugi hysteresis tergantung kepada tegangan dan frekwensi sumber. Dari rumus 15 didapat bahwa untuk memperkecil rugi-rugi hysteresis tersebut maka f.Bm^x harus diperkecil, karena f adalah

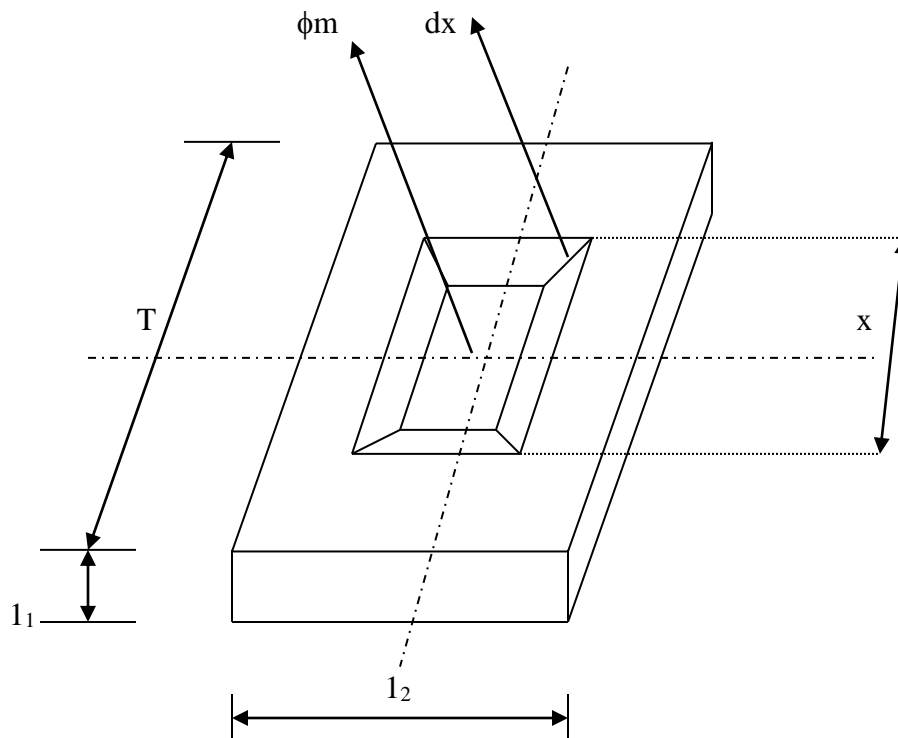
frekwensi sistem yang besarnya tetap, maka yang diperkecil adalah Bm^x = Bm = $\frac{\phi_m}{A}$

Berarti untuk memperkecil rugi-rugi hyterisis luas inti harus diperbesar.

- Rugi-rugi arus eddy adalah rugi-rugi yang disebabkan adanya pusar pada inti transformator yang besarnya adalah :

$$P_e = k_e \cdot f^2 \cdot B_m^2 \text{ (watt) } \dots\dots\dots(2.16)$$

Karena inti trafo merupakan suatu penghantar yang dialiri arus bolak-balik, pada inti tersebut akan timbul Emf induksi. Dengan adanya Emf induksi ini maka pada inti tersebut akan mengalir arus, karena adanya resistansi pada inti tersebut, maka pada inti tersebut akan terjadi rugi-rugi daya dan inilah yang disebut rugi-rugi arus eddy.



Gambar II.10. Inti transformator yang dilalui fluksi magnet

Dari gambar II.10 terlihat besar Emf yang ditimbulkan $E = 4,44 \cdot f \cdot B_m \cdot A$,

dimana : $A = x \cdot l_2$

Tahanan inti :

$$R = \frac{p \cdot l}{A_x} = \frac{p \cdot l_2}{l_1 \cdot d_x}$$

$$A_x = l_1 \cdot d_x$$

Inti trafo yang dilalui fluksi magnet :

$$\begin{aligned} d_{pe} &= \frac{4,44 \cdot f \cdot B_m (x \cdot l_2)^2}{p \cdot l_2 (\ell_1 \cdot dx)} \\ &= \frac{(4,44 \cdot f \cdot B_m \cdot \ell_2 \cdot x)^2 \cdot \ell_1 \cdot dx}{2 p \cdot \ell_2} \\ &= \int_0^t (4,44)^2 \cdot f^2 \cdot B_m^2 \cdot \frac{\ell_2 \cdot \ell_1}{2 p} \cdot x^2 \cdot dx \\ &= \frac{(4,44 \cdot f \cdot B_m)^2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1 \cdot t^3}{6 p} \end{aligned}$$

$$P_e = k e^2 \cdot f^2 \text{ (watt)}$$

$$\text{Dimana : } = \frac{(4,44 \cdot f \cdot B_m)^2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1 \cdot t^3}{6 p}$$

Dengan menganggap bahwa rapat fluksi uniform, akan terlihat bahwa rugi-rugi arus eddy akan sebanding dengan luas penampang inti disamping frekwensi dan rapat fluksi maksimum, sehingga untuk memperkecil rugi-rugi arus eddy ini, maka inti dari transformator dibuat dari lempengan baja yang tipis yang disusun berlapis-lapis dan masing-masing lapisan dibatasi isolasi. Lempengan ini disebut laminasi.

Jadi rugi-rugi inti ($P_{\text{inti}} = P_h + P_e$)

Karena rugi-rugi beban nol dianggap hanya terdiri dari rugi-rugi inti maka rugi-rugi beban nol tersebut dapat dianggap konstan untuk temperatur kerja yang tetap.

Pengukuran rugi-rugi beban nol :

$$R = \frac{P_m}{P_1 + K.P_2} . K = \left(\frac{V}{V_1} \right)^2 \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

P_1 = Rugi-rugi hysteresis (watt)

P_2 = Rugi-rugi eddy curen (watt)

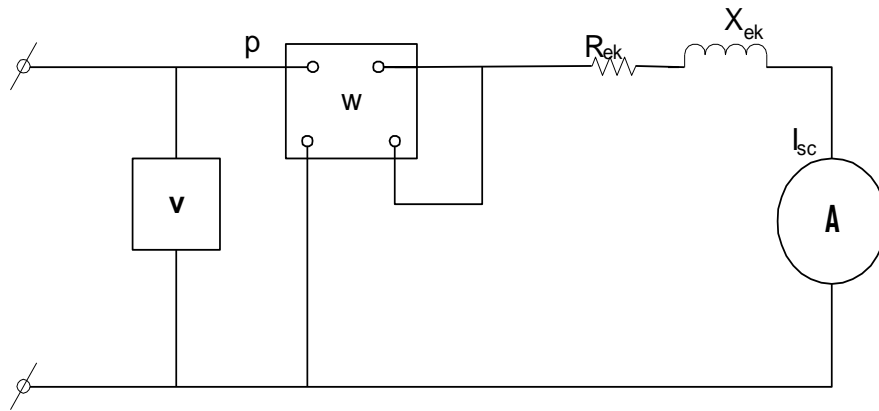
P_m = Rugi-rugi daya beban nol (watt)

V = Tegangan rata-rata (Volt)

V_1 = Tegangan beban nol (Volt)

2. Pengukuran Hubung Singkat

Hubung singkat berarti impedansi beban Z_L diperkecil menjadi nol, sehingga hanya impedansi $Z_{ek} = R_{ek} + jX_{ek}$ yang membatasi arus. Karena harga R_{ek} dan X_{ek} ini relatif kecil, harus dijaga agar tegangan yang masuk (P_1) cukup kecil sehingga arus yang dihasilkan tidak melebihi arus nominal, harga I_0 akan relatif kecil bila dibandingkan dengan arus nominal. Hingga pada pengukuran ini dapat diabaikan.



Gambar II.11. Rangkaian Pengukuran hubung singkat

Dengan mengukur tegangan $V_{h.s}$ dan arus $I_{h.s}$ dan daya $P_{h.s}$ akan dapat dihitung parameter :

$$R_{ek} = \frac{P_{h.s}}{(I_{h.s})^2}$$

$$Z_{ek} = \frac{V_{h.s}}{I_{h.s}} = r_{ek} + jX_{ek}$$

$$X_{ek} = \sqrt{Z_{ek}^2 - R_{ek}^2}$$

II.3.4. Rugi –Rugi Transformator

Suatu transformator dalam operasinya mempunyai rugi - rugi yang terdiri dari rugi-rugi inti dan rugi - rugi tembaga. Pada umumnya yang paling berpengaruh pada harga ketelitian rugi-rugi inti transformator ada dua yaitu :

1. Efek Distorsi Bentuk Gelombang

Bila diadakan suatu pengukuran pada rugi - rugi beban nol transformator, maka ada kemungkinan bahwa tegangan yang dipakai dapat menyimpang dari tegangan sinusoidal murni. Penyebab dari distorsi tegangan dapat ditelusuri kembali pada hubungan non linier antara B dan H , besarnya distorsi akan bertambah bila harga saturasi didekati dan juga impedansi rangkaian eksistensi bertambah.

Distorsi fluksi dapat dibatasi secara otomatis dengan penggunaan teknik *Amplifier Feed Back*, tetapi cara ini tidak selalu praktis dilakukan. Adalah perlu untuk membuat suatu koreksi yang tersedia pada rugi - rugi yang diukur pada tegangan-tegangan distorsi. Gelombang fluksi distorsi agak kompleks.

Beberapa percobaan telah dibuat dalam tahun - tahun terakhir ini untuk mengubah rugi - rugi yang diukur, dibawah kondisi eksitasi non sinusoidal pada suatu basis yang umum dari rugi - rugi dibawa kondisi eksitasi sinusoidal.

2. Efek Perubahan Temperatur

Suatu eksperimen yang diadakan didalam suatu studi pada sifat rugi -rugi baja silikon menunjukkan efek perubahan temperatur pada rugi - rugi inti transformator.

Rugi-rugi Hysterisis P_h dari semua sampel Epstein mempunyai ketergantungan temperatur yang dapat diabaikan. Rugi - rugi inti arus eddy dan rugi-rugi yang dihasilkan oleh Epstein, akan berkurang dengan naiknya temperatur ini dapat diartikan dengan kenaikan resistivitas listrik pada baja inti.

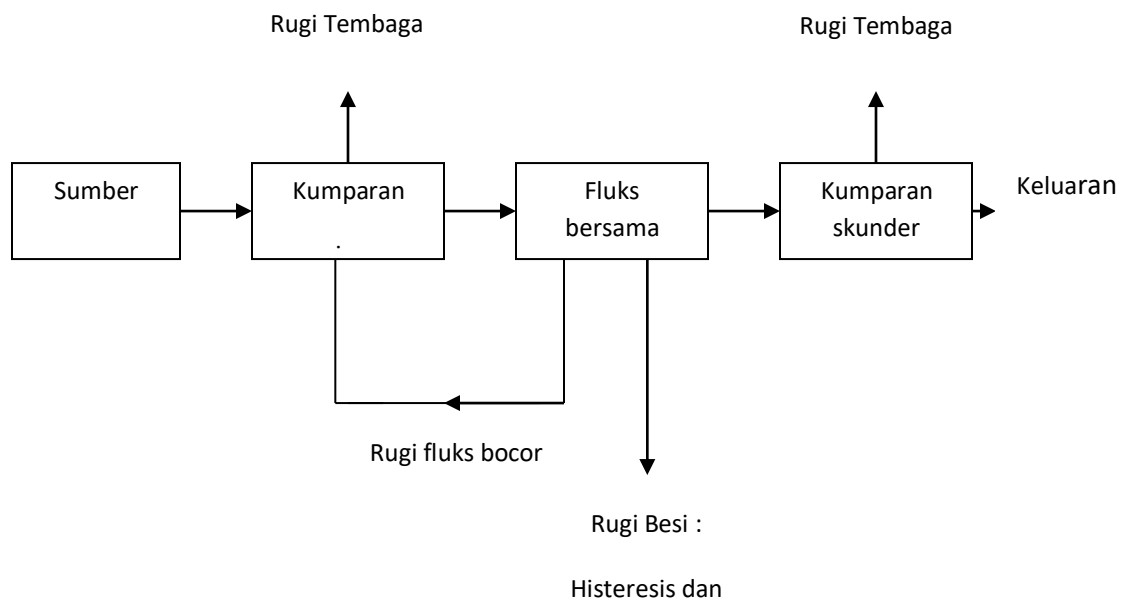
Tes-tes pada rugi-rugi beban nol dilaksanakan pada sejumlah transformator dari 10 KVA s/d 50 KVA hasil tes menunjukkan bahwa rugi-rugi berbanding terbalik dengan temperatur.

II.4. Rugi-Rugi Tembaga (Pcu)

Rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga,

$$P_{cu} = I^2 R$$

Karena arus beban berubah-ubah, rugi baban juga tidak tetap tergantung pada beban



Gambar 11.12. Struktur trafo

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Umum

Isolasi adalah sifat atau bahan yang dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar (atau lebih) yang berdekatan sehingga tidak terjadi kebocoran arus atau dalam hal gradient, lompatan api (flashover).

Alat listrik yang dipakai untuk menjalankan tugas mengisolasi adalah isolator. Isolator alat-alat saluran listrik dan sebagainya dirancang dan dioperasikan untuk ukuran isolasi tegangan standart yang telah ditentukan. Selain itu isolasi tersebut dirancang pula agar dapat dipakai terus menerus pada tegangan-tegangan yang lebih tinggi dari tegangan yang diperolehkan, hal ini akan dilakukan untuk menjaga kemungkinan adanya perubahan teganga saat beroperasi.

Persoalan isolasi adalah salah satu dari beberapa persoalan yang terpenting dalam tegangan tinggi pada umumnya. Jadi isolasi peralatan listrik harus mempunyai pengaman listrik yang cukup untuk menjamin faktor keselamatan yang diperlukan. Kegagalan (failure) yang terjadi pada peralatan tegangan tinggi yang sedang dipakai dalam operasi sehari - hari disebabkan karena isolasi memburuk (deterioration) atau karena terjadinya kegagalan (breakdown) pada bagian - bagiannya. Pada umumnya bahan - bahan isolasi kelihatan sekali pada bahan tambang (mineral) terutama dipakai sendiri (tanpa campuran isolasi lain). Meskipun benda padat yang paling sederhana pun memperlihatkan sifat yang berbeda dan tidak ada benda padat yang bagaimanapun sama macamnya yang memberikan hasil (pengujian) yang sama.

III.2. Bahan Isolasi Dan Fungsinya

Pemilihan bahan merupakan salah satu proses memecahkan masalah kualitas isolasi pada suatu bahan.

Berdasarkan sifat - sifat bahan isolasi dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Logam dan Alloy
2. Keramik dan Gelas
3. Polymer Organik

III.2.1. Logam Dan Alloy

Logam terdiri dari atom - atom yang sangat rapat satu sama lainnya, dan mempunyai berat jenis yang tinggi dari pada bahan baku logam, serta dapat dirubah bentuknya dengan pengerjaan panas maupun dingin.

Logam dianggap sebagai terdiri dari fasa - fasa homogen yang sifat - sifatnya ditentukan oleh parameter thermodinamika tertentu. Akan tetapi hal ini hanya memungkinkan evaluasi atas beberapa sifat saja. Kemudian, pendekatan lainnya menggunakan struktur atom logam sebagai dasar analisa, dan sifat - sifatnya dihubungkan dengan susunan atom karakteristiknya. Cara pendekatan ini disebut crystallography.

Alloy adalah gabungan dari dua logam atau lebih yang berbeda dari komponen pembentuknya. Dengan pencampuran ini sifat - sifat mekanis seperti kekuatan, derajat kekerasan dapat diperbaiki semakin lebih baik lagi. Adapun contoh dari bahan logam dan alloy ini adalah baja, aluminium, tembaga, perak , emas, kuningan dan perunggu.

III.2.2. Keramik Dan Gelas

Keramik adalah bahan organik yang diproses atau digunakan pada temperatur yang tinggi. Didalamnya termasuk berbagai macam silikat, oksida logam dan kombinasi silikat dengan oksida logam. Senyawa - senyawa ini pada umumnya memiliki derajat kekerasan yang tinggi, dan beberapa diantaranya mempunyai kestabilan yang tinggi dengan tinggi lebur yang tinggi juga. Keburukkan utama dari semua bahan ini adalah sifatnya yang mudah pecah (keras - rapuh).

Gelas merupakan bahan hasil dari pelelehan yang pada waktu membeku dari keadaan cairnya gagal membentuk kristal. Selama proses pendinginannya, gelas tidak menunjukkan perubahan yang diskontinyu pada suatu temperatur, yang tampak hanyalah kenaikan viskositas secara berangsur-angsur. Silikat merupakan pembentuk gelas yang paling banyak digunakan. Pembentuk gelas lainnya adalah Oksida Boron, Vanadium, Germanium, dan phosphor. Adapun contoh dari bahan keramik dan gelas adalah beton, semen dan mortar.

III.2.3. Polymer Organik

Plastik, serat, film dan sebagainya yang bisa dipergunakan dalam kehidupan sehari - hari mempunyai berat molekul diatas 10.000. Bahan dengan berat molekul yang besar itu disebut polymer, mempunyai struktur dan sifat - sifat yang cukup rumit disebabkan oleh jumlah atom pembentuk yang jauh lebih besar dibandingkan dengan senyawa yang berat atomnya rendah. Umumnya suatu polymer dibangun oleh satuan struktur tersusun secara berulang diikat oleh gaya tarik menarik yang kuat yang

disebut ikatan kovalen, dimana setiap atom dari pasangan terikat menyumbang satu elektron untuk membentuk sepasang elektron.

Bahan polymer yang mempunyai berat molekul besar dan berikatan kovalen, sama sekali menunjukkan sifat - sifat yang berbeda dari bahan organik yang mempunyai berat molekul yang rendah. Bahan yang mempunyai berat molekul rendah berubah menjadi cair dengan sangat kental dan tidak menguap.

Banyak bahan yang mempunyai berat molekul rendah larut pada pelarut yang mempunyai viskositas yang rendah, sedangkan sejumlah bahan polymer umumnya tidak larut pada zat pelarut dan kalau pun bisa larut, viskositasnya sangat tinggi.

Sifat - sifat khas bahan polymer pada umumnya adalah sebagai berikut :

1. Mampu cetak adalah baik. Pada temperatur relatif rendah bahan dapat dicetak dengan penyuntikan, penekanan, ekstruksi dan seterusnya, yang menyebabkan ongkos pembuatan lebih rendah dari pada bentuk logam dan keramik.
2. Produk yang kuat dan ringan dapat dibuat. Berat jenis polymer rendah dibandingkan dengan logam dan keramik yaitu 1,0 – 1,7 yang memungkinkan membuat barang kuat dan ringan.
3. Banyak diantara polymer bersifat isolasi yang baik.
4. Baik sekali dalam ketahanan air dan ketahanan zat kimia.
5. Produk - produk dengan sifat yang cukup berbeda dapat dibuat tergantung pada cara pembuatannya.
6. Umumnya bahan polymer lebih murah.
7. Kurang tahan terhadap panas. Hal ini sangat berbeda dengan logam dan keramik. Walaupun ketahanan panas bahan polymer tidak sekuat logam dan keramik, pada penggunaannya harus cukup diperhatikan.

8. Kekerasan permukaan yang sangat kurang. Bahan polymer yang keras ada, tetapi masih jauh dibawah kekerasan logam dan keramik.
9. Kurang tahan terhadap pelarut. Umumnya larut dalam zat pelarut tertentu kecuali beberapa bahan khusus. Kalau tidak larut, mudah kontak karena kontak yang terus menerus dengan pelarut dan disertai adanya tegangan.
10. Mudah termuati listrik secara elektrostatis.
11. Beberapa bahan tahan abrasi, atau mempunyai koefisien gesek yang kecil.

Dengan melihat berbagai sifat yang disebut diatas, maka sangat penting untuk dapat memilih bahan yang paling cocok. Adapun contoh dari bahan polymer organik adalah PVC, Polyethylene, Nylon, Kapas, Karet, PVF, Polystyrene dan polyester. Isolasi sangat penting sekali fungsinya khususnya dalam bidang Teknik Tegangan Tinggi dan arti ekonominya sehingga penghematan dalam pemakaiannya adalah mutlak (perlu).

Berdasarkan fungsinya maka bahan isolasi dapat digolongkan sebagai berikut:

- a. Penyangga / penggantung (solid support), yang pasti berbentuk padat.
- b. Bahan pengisian (filling media), berupa bahan cairan atau gas.
- c. Bahan penutup biasa terdapat pada bagian paling luar, berbentuk padat dan cair.

III.3. Sifat Bahan Isolasi Berdasarkan Karakteristik

Berdasarkan karakteristik dan sifat - sifatnya bahan isolasi dapat dianalisa berdasarkan empat macam sifat yaitu :

1. Sifat mekanik, gaya - gaya yang mempengaruhi. Jika gaya tidak menyebabkan perubahan momentum pada suatu sistem maka sistem berada dalam keseimbangan meliputi tahanan isolasi, dielektrik stretch, power loss, constant elektrik dan lain - lain.
2. Sifat listrik, pada suatu bahan isolasi kelihatan sekali pada bahan tambang (mineral) terutama bila dipakai sendiri (tanpa campuran) meliputi kekuatan tarik, kekerasan dan kerapuhan.
3. Sifat kimiawi, meliputi kestabilan bahan, ketahanan terhadap asam dan basa, korosi dan sebagainya.
4. Sifat panas, selalu merambat (mengalir) dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah lebih mudah merambat pada logam. Meliputi tahanan panas, koefisien pemakai, viscosity dan sebagainya.

Biasanya karakteristik isolasi padat untuk suatu pengetrapan merupakan kompromi karena perbaikan sifat dari bahan yang sama akan menyebabkan berkurangnya sifat lain dari bahan tersebut.

Misalnya dalam hal isolasi berlapis, bila gaya dielektrik isolasi hendak dinaikkan sampai harga maksimumnya, maka akan menjadi lekas patah/pecah (brittle) atau tidak sempurna bentuknya karena keretakan. Kualitas yang seimbang didapatkan dari pengujian berulang - ulang.

Dalam hal ini isolasi berserat (fibrous), misalnya untuk trafo, mempunyai sifat menua (aging) dalam gaya mekanisnya pada semua suhu dan kecepatan menuanya naik dengan cepat sekali dengan naiknya suhu, kecepatannya berlipat dua untuk menaikkan suhu.

Meskipun demikian, sekarang listrik proses penuaan tidak sampai bahannya menjadi gampang pecah atau rusak. Minyak juga menjadi rusak pada semua suhu bila terkena udara karena oksidasi endapan seperti Lumpur (sludge) yang menjadi bertambah bila suhunya meninggi. Bila kontak dengan udara ditiadakan maka endapan sangat berkurang. Inilah sebabnya juga mengeluarkan kelembaban dalam isolasi maka semua transformator tegangan dilengkapi dengan konservator.

III.4. Tebal Isolasi

Suatu kenyataan yang banyak diakui kebenarannya menunjukkan bahwa gaya dielektriknya suatu bahan isolasi naik, bahkan dikatakan selalu turun dengan kenaikan tebal isolasi yang dapat dibuat hanya dengan tebal terbatas. Ini berarti bahwa pada tegangannya perlu diatur didalam tubuh isolator dengan mengadakan elektroda tambahan atau dengan memakai bahan dengan konstanta dielektrik yang berbeda.

Pada umumnya (secara praktis dapat dibuktikan), gaya dielektrik dari bahan isolasi termasuk minyak dapat dinyatakan sebagai rumus eksponensial sederhana dimana gaya naik dengan tebalnya dipangkatkan angka kurang dari satu.

$$F = a \cdot t^n \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

F = Gaya dielektrik (N)

a = Konstanta, tergantung beban

t = Tebal isolasi (m²)

n = 0,5 – 1,0

harga (n) untuk bahan padat tergantung dan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kekeringan, struktur bahan, pengolahan bahan (n lebih rendah untuk bahan yang diolah dari bahan yang tidak diolah) dan bentuk elektroda yang dipakai. Untuk medan seragam harga (n) biasanya lebih tinggi dari pada harga (n) untuk medan tidak seragam.

Untuk minyak ada faktor lain yang mempengaruhi harga (n) minyak yang dihilangkan gasnya, bila diuji diantara piringan rata gaya dielektrik dan harga (n) nya berubah-ubah, tergantung dari posisi piringan, tegak atau mendatar. Hal ini disebabkan karena udara yang tertangkap pada elektroda atas yang mendatar memegang peranan penting dalam kegagalan.

III.5. Faktor Yang Mempengaruhi Ketahanan Isolasi

Bentuk medan listrik antara penghantar dengan tanah atau dengan penghantar lainnya menentukan rencana (desing) semua isolasi tegangan tinggi. Tujuannya adalah membagi bahan dielektrik diantara elektroda tersebut. Bahan logam yang dipasang diantaranya, misalnya ada pada bushing kapasitor, gandingan isolator dan lain - lain merubah bentuk medan dan kadang - kadang dipakai cara untuk menghemat bahan dielektrik.

Karakteristik semua macam isolator ditentukan oleh hukum yang sama, meskipun masing - masing mempunyai beberapa ciri perencanaan khusus. Pada pokoknya tegangan pada isolator merupakan suatu tarikan / tekanan (stress) yang harus dilawan oleh suatu gaya didalam isolator itu sendiri agar supaya isolator tidak gagal. Gaya perlawanan ini ialah ukuran gaya listrik pada isolator. Dalam struktur molekul dalam bahan isolasi, elektron - elektron terkait erat pada molekul dan ikatan ini mengalami perlawanan terhadap tekanan tegangan. Apabila ikatan ini pada suatu tempat maka sifat isolasi hilang pada tempat itu.

Disamping elektron - elektron yang erat ikatannya tadi, ada elektron - elektron lain (sedikit jumlahnya) yang ikatannya kurang kuat, yang bila dikenakan tegangan dapat bergerak dari molekul satu ke molekul yang lain, sehingga timbulah arus konduksi. Arus ini disebut arus bocor.

Ada lagi arus lain yang disebut arus absorpsi yang dapat diumpamakan sebagai pemolaran (stretching) sedikit demi sedikit dari ikatan elektron sesudah pemindahan utama (main displacement) terjadi, sampai keseimbangan antara tekanan listrik dan gaya lawannya.

Jadi bila tekanan listrik diterapkan pada isolasi, maka tiga arus terjadi :

- a. Arus pemindahan (displacement current) atau arus penguat (untuk DC singkat sekali).
- b. Arus absorpsi yang dapat berlangsung dari berjam - jam sampai berminggu - minggu.
- c. Arus konduksi yang sederhana.

Untuk menghasilkan arus - arus ini dikeluarkan tenaga, dan bila tegangan yang diterapkan cukup tinggi untuk memutuskan ikatan elektron, maka arus penguat dan arus absorpsi timbul dan berubah menjadi arus konduksi, yang bersamaan arus konduksi yang sebenarnya merupakan arus gagal dari pada isolator.

Dari uraian diatas kelihatan bahwa sebuah isolator tertentu, dalam suasana tertentu selalu akan mempunyai tegangan gagal yang sama, hal ini tidak selalu benar, karena karakteristiknya berubah pola ia memasukkan suatu ketidak murnian (impurity) adanya arang dalam minyak atau kelembaban dalam isolasi berserat menurunkan tegangan gagal.

Gradient tegangan dv/dx melalui sebuah isolator tidak konstan sepanjang isolator tersebut. Meskipun elektrodanya plat - plat sejajar, gradient tegangannya paling curam dekat keping - keping tadi. Ditengah, diantara kedua plat gradientnya seragam bila dimensinya besar dibandingkan dengan jarak antara kedua plat. Bila bentuk medan tidak seragam dan tidak teratur seperti alat - alat pemutus beban, variasi gradient tegangan besar sekali. Akibatnya sebagian isolator ditekan lebih berat dari pada bagian yang lain, sehingga mungkin terjadi kegagalan sebagian.

Pada isolator cairan, kegagalan lokal tidak mungkin menjadi kegagalan total, oleh karena cairan mempunyai sifat menutup sendiri (self – sealing). Sebaliknya pada isolasi padat kegagalan lokal bersifat progresif, yang akhirnya menjadi kegagalan total. Jadi dapat disimpulkan factor yang mempengaruhi ketahanan isolasi salah satunya adalah bahan isolasi yang dipakai.

III.5.1. Pengaruh Temperatur Terhadap Tahanan Jenis

Umumnya bahan tahanan adalah bahan yang mempunyai banyak elektron bebas. Bahan yang sedemikian dikatakan mempunyai tahanan rendah terhadap aliran arus listrik atau mempunyai konduktansi yang tinggi. Oleh sebab itu konduktor listrik yang baik mempunyai konduktansi yang tinggi dan tahanan yang rendah.

Tidak semua bahan konduktor memberikan tahanan yang sama terhadap aliran arus karena bahan yang mempunyai jumlah elektron bebas berbeda. Sebagai contoh, tembaga mempunyai tahanan yang lebih rendah terhadap aliran arus dari pada aluminium.

Tahanan tidak hanya tergantung pada bahan yang digunakan, tetapi juga pada ukuran. Dalam konduktor yang mempunyai luas penampang yang besar, jumlah elektron bebas yang bergerak lebih besar dari pada dalam kawat yang mempunyai luas penampang kecil. Jadi, semakin besar konduktor, semakin rendah tahanannya.

Tahanan juga tergantung pada panjang konduktor. Konduktor yang panjangnya 20 kaki mempunyai tahanan dua kali lebih besar dari pada konduktor dengan bahan yang sama yang panjangnya 10 kaki.

Tahanan juga tergantung pada temperatur. Perubahan temperatur akan mengakibatkan perubahan tahanan.

Maka dapat disimpulkan, tahanan konduktor bergantung pada bahan, luas penampang, panjang dan temperatur.

Dinyatakan sebagai persamaan :

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana :

R = Tahanan (Ω)

L = Panjang (m)

A = Luas penampang (m^2)

ρ = Konstanta tahanan jenis (Ω -m)

Hubungan linier antara temperatur dan tahanan berlaku untuk seluruh daerah temperature yang umum dijumpai dan dapat dinyatakan secara mekanik sebagai berikut :

$$R_2 = R [1 + \alpha (t_2 - t)] \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana :

R_2 = Tahanan pada temperatur t_2 (R_{t_2})

R = Tahanan pada 20°C (Ω/km)

α = Koefisien temperatur tahanan

Untuk menghitung tahanan kawat pada temperatur ruang 20°C dapat ditulis :

$$R_{20} = \left[\frac{234,5 + 20}{294,5 + T_k} \right] \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana :

R_{20} = Tahanan kawat pada 20°C (R_{t_2})

R_x = Tahanan kawat hasil pengukuran (Ω)

T_k = Temperatur ruang atau kamar (°C)

Konduktivitas kawat tembaga dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma(\%) = \frac{A}{\frac{Rx.m}{I^2.G} + B(20-t)} \dots\dots\dots(3.5)$$

Atau

$$\sigma(\%) = \frac{C}{\frac{Rx.m}{I^2.G} + D(20-t)} \dots\dots\dots(3.6)$$

Dimana :

R = Besar tahanan kawat (Ω)

M = Massa (gram)

ℓ = Panjang kawat (m)

t = Temperatur pengukuran ($^{\circ}\text{C}$)

G, A, B, C, D = Konstanta

σ = Konduktivitas kawat tembaga (%)

Untuk mengetahui harga - harga konstanta dari jenis kawat tembaga dan aluminium dapat dilihat seperti pada table III.1.

Tabel III.1. Harga-Harga Konstanta Dari Jenis Kawat Tembaga dan Aluminium

Konstanta	Kawat Tembaga	Kawat Aluminium
A	0,017241	0,01724
B	0,000068	0,000113
C	0,153280	0,046553
D	0,000600	0,00031
G	8,890000	2,70

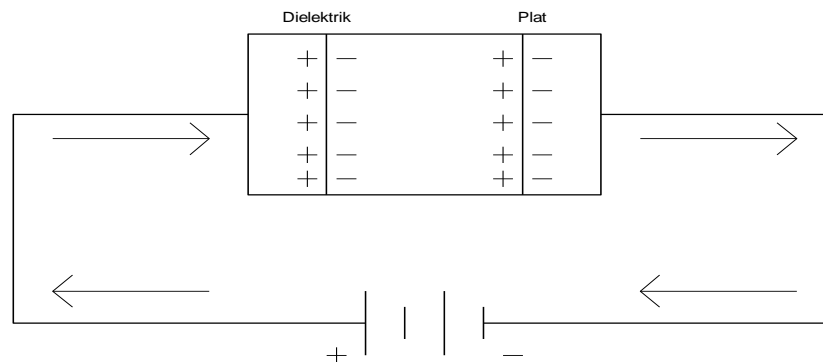
Dari perhitungan tahanan kawat pada temperatur 75°C harus memenuhi standart yang telah ditentukan yaitu :

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = \frac{0,0211415}{A} \times 1000 \Omega / Km \dots\dots\dots(3.7)$$

Dimana kawat tembaga tersebut adalah murni 100%

III 5.2. Pengaruh sifat dielektrik dan kekuatan dielektrik

Suatu bahan dielektrik adalah merupakan bahan yang tidak dapat melakukan muatan listrik karena elektronnya terikat kuat dengan inti atomnya. Akan tetapi muatan ini peka terhadap medan listrik atau dapat mempengaruhi oleh medan listrik. Selama medan listrik masih ada selama itu pula elektron-elektronnya akan berberak.



Gambar 3 . 1. Arah getaran electron pada dielektrik

Elektron-elektron dari bahan dielektrik akan bergerak dalam arah (+) medan listrik. Sehingga akan terjadi pengkutupan atau muatan-muatan akan terinduksi.

Dimana polarisasinya :

$$P = \frac{Q \cdot d}{V} \dots\dots\dots (3.8)$$

Apabila $V = A \cdot d$, maka :

$$P = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (3.9)$$

Dimana :

V = Volume dielektrik

Q = Muatan pada dielektrik (J)

A = Luas penampang dielektrik (m²)

d = Tebal dielektrik (mm)

Jumlah polaritas tergantung pada struktur bahan dan pengaruh rapat muatan yaitu : D (C/m²) pada suatu kapasitor. Jika antara plat adalah vacuum maka rapat muatan adalah sebesar D_o dan sebanding dengan muatan listrik E atas ;

$$D_o = \epsilon_o E \text{ (C/m}^2\text{)}$$

Dimana :

ϵ_o = Permittivitas udara / vacuum (konstanta perbandingan)

$$= 8,85 \times 10^{-12} \text{ farad / m}$$

Bila ada bahan dielektrik diantara plat maka rapat muatan meningkat menjadi D,

Dimana :

$$D = K \cdot D_o$$

Dimana :

K = Konstanta elektrik dari bahan permeabilitas dielektrik.

$$K = \epsilon_r, \text{ dimana : } \epsilon = K \cdot D_o$$

$$= \epsilon_r \cdot \epsilon_o$$

$$D = K \cdot D_o ;$$

$$\mathbf{D = K \cdot \delta_o \cdot E}$$

Maka : $\mathbf{D = \delta \cdot E}$

Untuk, $\delta_r = 1$, maka : $\delta = \delta_o$

Kuat medan listrik diantara kedua plat paralel adalah :

$$E = \frac{V}{D} \dots\dots\dots (3.10)$$

Dimana :

E = Kuat medan listrik (Volt / m)

V = Tegangan antara plat (Volt)

D = Jarak antara plat (m)

Suatu dielektrik adalah mempunyai elektron yang terikat kuat untuk suatu kondisi, apabila diberikan tegangan tertentu yang mengakibatkan terjadinya break down (tembus) tersebut. Jadi tegangan tembus dari suatu dielektrik adalah tegangan minimum yang dibutuhkan untuk tembus.

Kekuatan dielektrik suatu isolator adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh bahan tanpa terjadi break down (tembus).

$$\text{Gradien tegangan : } E = \frac{V}{D}$$

Misalnya, kekuatan dielektrik suatu bahan adalah 3 kV / mm, ini berarti bahan tegangan maksimum dengan tebal 1 mm dari bahan dapat ditahannya tanpa tembus pada tegangan 3 kV. Jika tegangan dinaikkan dari harga ini dielektrik akan tembus dan akan melakukan arus listrik.

Untuk mengetahui konstanta dielektrik serta kekuatan dielektrik suatu bahan dielektrik dapat dilihat pada tabel III.2.

Tabel III.2. Konstanta Dielektrik Serta Kekuatan Dielektrik Suatu Bahan Dielektrik

No	Material	Konstanta Dielektrik	Kekuatan Dielektrik (KV / mm)
1	Air (udara)	1	3,2
2	Glass	5 - 12	12 – 60
3	Mica	4 - 16	20 – 60
4	Rubber (karet)	2,5	-
5	Wood (kayu)	2,5 - 6,8	-
6	Miconita	4,5 - 6	25 – 35
7	Paper (kertas)	1,8 - 3,6	-
8	Paraffin wax	1,7 - 2,3	30
9	Porselen	5 - 6,7	-
10	Qartz	4,5 - 4,7	15
11	Sulpur	3,6 - 4,1	8
12	Nilon	4	-
13	Polietilen (pt)	2,3	-
14	PVC (plastik)	3,4 - 7	-

III.5.3. Pengaruh Potensial Gradien (Medan Listrik)

Secara umum gradien tegangan dapat dituliskan :

$$E = - \frac{dv}{dx} \quad \text{Gradien tegangan } dv/dx \dots\dots\dots(3.11)$$

Tanda minus menunjukkan, bahwa medan listrik diarahkan dari daerah tegangan yang tinggi kedaerah dengan potensial yang rendah. Gradien tengan dv / dx melalui suatu bahan isolator tidak konstan sepanjang isolator tersebut. Akibatnya sebagian isolator ditekan berat dari pada bagian yang lain, sehingga kemungkinan terjadi kegagalan (break down) sebagian.

Pada dielektrik (isolator) cair kegagalan lokal (sebagian) tidak mungkin menjadi kegagalan total, karena cairan mempunyai sifat menutup sendiri (self sealing) sebaiknya pada isolator padat kegagalan lokal bersifat progresif yang akhirnya menjadi kegagalan total. Dalam hal ini dianggap bahwa medannya seragam (lihat gambar II.2), arus bocor dapat diabaikan dan konsentrasi fluks pada pinggiran juga dapat diabaikan. Hal ini dapat dilihat pada kedua dielektrik dalam seri. Oleh karena perpindahan (displacement) netral sama, maka :

$$Dn_1 = Dn_2$$

$$\delta_1 \cdot En_1 = \delta_2 \cdot En_2$$

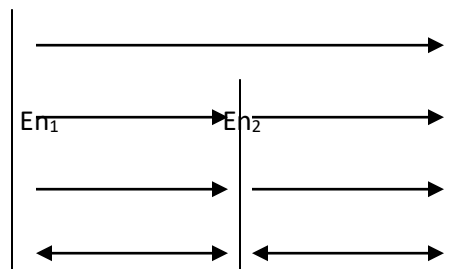
Dimana : δ_1, δ_2 = permitivitas

$$En_1, En_2 = \text{kuat medan} = \frac{V_1}{X_1}; \frac{V_2}{X_2}$$

Oleh sebab itu, teganga dielektrik V_1, V_2 , sebagai fungsi dari seluruh tegangan V adalah :

$$V_1 = \frac{V}{(1 + X_2\delta_1 / X_1\delta_2)}$$

$$V_2 = \frac{V}{(1 + X_1\delta_2 / X_2\delta_1)}$$



$$X_1 \qquad X_2$$

Gambar III.1. Medan Magnet Seragam

Bila terdapat n dielektrik dalam seri, maka gradien atau kuat medannya pada suatu titik X adalah

:

$$E_x = \frac{V}{\delta_x \left[\frac{X_1}{\delta_1} + \frac{X_2}{\delta_2} + \dots + \frac{X_n}{\delta_n} \right]} \dots\dots\dots(3.12)$$

Untuk gradien tegangan pada silinder konsentrasi yang dipisahkan oleh media yang berlainan

$$E_x = \frac{0,434V}{V_{ex} \left[\frac{\text{Log}10r1/r}{\delta1} + \frac{\text{Log}10r2/r1}{\delta2} + \frac{\text{Log}10R/rn}{\delta n} \right]} \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana:

r,r1,r2...,rn, R = Jari –jari silinder (mulai dari yang paling kecil)

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_x, \dots, \delta_n$ = Konstanta dielektrik (permitivitas)

x = Suatu titik antara silinder besar R dan silinder kecil r

V = Tegangan rata - rata

Gradien tegangan untuk kedua kawat yang berjari - jari r dan berjarak d yang berisolasi pita dan dicelup dalam cairan atau udara adalah :

$$E_x = \frac{0,434V}{X_{ex} \left[\frac{\text{Log}10R/r}{\delta_1} + \frac{\text{Log}10d/R}{\delta_2} \right]} \dots\dots\dots(3.14)$$

Untuk $d/r > 12$

Dimana :

$V_n = 1/2$ tegangan yang diterapkan (V)

X = Jarak dari pusat kawat (m)

δ_x = Konstanta dielektrik pada x

R = Jari - jari kawat yang diisolasi (mm)

r = Jari - jari kawat tanpa isolasi (mm)

d = Jarak antara dua kawat (m)

δ_1 = Konstanta dielektrik

δ_2 = Konstanta dielektrik dari media antara kedua kawat

III.6. Isolasi Kawat PVF (Polyvinil Formaldehid)

Salah satu bahan polimer isolasi yang digunakan adalah bahan isolasi yang berjenis PVF (Polivinil Formaldehid) bahan ini dapat dengan proses formalasi (formaldehid) dari polyvinil klorida dan metanal (Formaldehid) yang akan menghasilkan Polyvinil Formaldehid (PVF).

Karena isolasi ini mempunyai isolasi listrik dan daya rekat yang baik dengan logam, dipakai sebagai lapisan isolasi kabel listrik setelah dicampur dengan alkifenol (kabel yang diisolasi foemal). PVF (Polyvinil Formaldehid) memiliki sifat baik dalam tahanan terhadap panas, air, minyak, bahan kimia dan abrasi sukar terdegradasi dengan meningkatkan temperature. Sifat - sifat isolasi jenis PVF (Polyvinil Formaldehid) ini dapat dilihat pada tabel ini :

Tabel 3.3. Sifat - sifat isolasi jenis PVF

PVC	Harga Toleransi
Berat jenis	1,2 - 1,4
Kekuatan tarik (Kgf/mm ²)	6,3 - 8,4
Perpanjangan (%)	7 - 11
Kekuatan Impak (Kgf/Cm/Cm ²)	2,2 - 4,2
Tahanan Volume (Ω - Cm)	10 - 15
Kekuatan Putus Dielektrik (KV/mm)	12 - 14
Konstanta dielektrik (10 Hz)	3,0
Penyerapan air (24j, 3mm tebal, %)	0,8

III.7. Konduktor Tembaga

Konduktor adalah bahan dengan resistensi rendah untuk dilalui arus listrik. Pada suatu kabel berarti kawat yang secara listrik continiu atau kawat yang membentuk bagan konduksi.

Tembaga logam yang mempunyai konduktivitas listrik dan thermal yang baik, sifat mekanisnya baik, tahan terhadap karat penyambungannya dapat dilakukan dengan mudah dan efisien melalui berbagai metode, tersedia dalam berbagai bentuk dan bekas pakainya pun mempunyai nilai yang tinggi. Tembaga yang mempunyai tingkat kemurnian yang sangat baik dibandingkan dengan logam apa pun kecuali perak.

Konduktor yang terbuat dari tembaga mempunyai kemampuan khusus untuk mengalirkan arus listrik yang tinggi yang dikuatkan. Untuk menjaga kelenturannya sejumlah kawat tembaga dijalin menjadi satu, ini dilakukan untuk ukuran besar.

III.8. Tegangan Tembus (Break Down Voltage)

Terjadinya perubahan secara tiba - tiba pada suatu isolasi dari keadaan non konduksi menjadi konduksi ketika isolasi itu dihadapkan pada medan listrik yang cukup kuat perubahan ini bisa jadi mengakibatkan kerusakan inilah yang kita sebut bocoran listrik. Sementara isolasi berfungsi sebagai pelindung, Alat - alat dari isolasi ini kita sebut isolator. Peristiwa kegagalan suatu isolator melaksanakan fungsinya disebut break down dan tegangan yang menyebabkan break down ini disebut tegangan tembus atau tegangan break down.

III.9. Isolasi Kertas Dengan Merek Weidmann

Salah satu bahan isolasi kertas yang digunakan adalah bahan isolasi yang berjenis atau bermerek Weidmann. Karena isolasi ini mempunyai isolasi listrik yang fleksibel. Bahan isolasi kertas merek weidmann ini memiliki sifat baik dalam tahanan terhadap arus dan tegangan.

Isolasi kertas ini memiliki komposisi yang dimana terdiri dari selulosa, ikatan resin sintesis, pressboard isolasi kertas dengan ketebalan isolasi kertasnya adalah 9mm atau lebih, dimana kandungan kelembabannya mencapai 6%.

Aplikasi atau kegunaan isolasi kertas ini adalah sifat - sifat mekanika bahan ini menjadikannya layak atau sesuai digunakan dalam transformator sebagai plat yoke, elemen kompresi atau penahan,

penopang sambungan dan lain - lain, dalam zona yang memiliki tekanan listrik yang rendah. Isolasi kertas ini memiliki gambaran atau uraian produk antara lain adalah :

1. Sifat - sifat mekanika yang baik
2. Perilaku elastisitas yang baik
3. Dapat dipadukan dengan transformeroil
4. Mudah dikerjakan dengan mesin; dapat dipotong, dilubangi dan sebagainya.

III.10. Klasifikasi Bahan Isolasi Listrik

Menurut AIEE standart (America Institute of Electric Engenering) klasifikasi isolasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.4. Klasifikasi Bahan Isolasi Listrik

Kelas	Temperatur Maks (°C)
-------	----------------------

Y	90°C
A	105°C
E	120°C
B	130°C
F	155°C
H	180°C
C	>180°C

III.10.1. Bahan Isolasi Kelas Y

Bahan isolasi organik (kertas, karbon, katun, sutra dan sebagainya) yang tidak dicelup dalam bahan vernis atau bahan pencelup lainnya.

III.10.2. Bahan Isolasi Kelas A

Bahan berserat dari kelas Y yang telah dicelup dalam vernis yang terendam dalam cairan dielektrikum (misalnya penyekat fiber yang dipakai dalam transformator yang terendam dalam minyak). Bahan - bahan ini adalah katun, sutra dan kertas yang dicelup. Termasuk juga kawat - kawat enamel yang berlapis sebangsa dammar oleo dan dammar polymide.

III.10.3. Bahan Isolasi Kelas E

Penyekat kawat enamel yang memakai bahan pengikat formal, polynethan dan dasar epoxy dan bahan pengikat lain semacam ini dengan bahan pengisi selulose, pertinaks dan tekstolit film triacatate, film dan serat polyethylene tereptithalele.

III.10.4. Bahan Isolasi Kelas B

Bahan bukan organik (Mika, Gelas Fiber, Asbes) dicelupkan atau direkat menjadi satu dengan vernis (dengan dasar minyak pengering, bitumen, serlak bakelit dan sebagainya).

III.10.5. Bahan Isolasi Kelas F

Bahan bukan organik dicelup atau direkat menjadi satu dengan proxide, polyurethane atau vernis lain yang tahan panas tinggi.

III.10.6. Bahan Isolasi Kelas H

Semua bahan komposisi dengan bahan dasar mika, asbes dan gelas fiber dicelup dalam silikon dan tidak mengandung sesuatu bahan organik (kertas, katun, dan sebagainya). Dalam kelas ini termasuk juga karet silikon.

III.10.7. Bahan Isolasi Kelas C

Bahan bukan organik yang tidak dicelup dan tidak terikat dengan zat - zat organik, misalnya : mika, mikanit yang tahan panas (menggunakan bahan pengikat bukan organik), gelas dan bahan

keramik. Hanya satu bahan organik satu saja yang termasuk kelas C yaitu : Polytera Flouroethylene (Teflon).

III.11. Metode Pengujian Bahan Baku

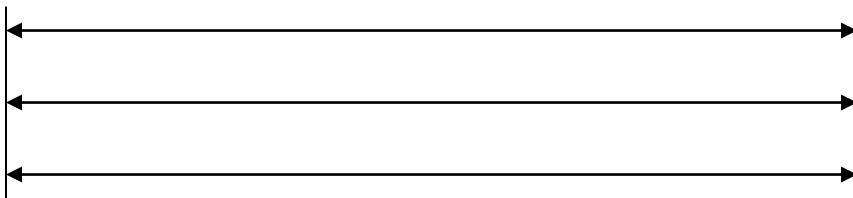
III.11.1. Isolasi Kawat

Metodologi pengujian yang dilakukan adalah eksperimen dan observasi terhadap setiap kondisi tegangan serta batasan - batasan yang didasarkan kelas bahan tersebut seperti :

1. Tahanan Isolasi
2. Konduktivitas
3. Diameter Konduktor
4. Tegangan Tembus

III.11.1.1. Jenis Bahan Uji.

Bahan uji yang digunakan adalah konduktor tembaga kawat PVF (Polyvinil Formaldehid) yang diambil secara random dengan ukuran tertentu yaitu sepanjang 50 cm seperti gambar III.3.



Gambar III.3 Potongan Konduktor Tembaga

III.11.1.2. Alat Uji.

Dalam pengujian ini menggunakan alat uji Insulation Oil Tester, model KPT GMA buatan jepang. Untuk menguji kawat konduktor digunakan alat ukur Double.

Bridge Type 2752 Yokogawa Elektrik Works Ltd Tokyo, Japan.

III.11.1.3. Tahap Pelaksanaan Pengujian Pada Isolasi Kawat.

Tahap pelaksanaan pengujian isolasi kawat PVF yang dilakukan oleh PT. MORAWA ELECTRIC TRANS BUANA adalah :

a. Pengujian tahanan tembaga

Sebelum dilakukan pengujian tegangan tembus (Break Down) terlebih dahulu diuji tahanan kawat konduktor. Dalam pengujian ini digunakan rangkaian pengukuran tahanan kawat dengan alat ukur Double Bridge.

Langkah - langkah pelaksanaan pengujian :

1. Ambil sample konduktor yang akan diuji panjang kurang lebih 1m, ukurlah diameter kawat tersebut sebelum dibersihkan emailnya.
2. Kemudian kawat dibakar dengan api guna menghilangkan lapisan isolasi kawat, ukurlah diameter kawat tersebut setelah dibersihkan.
3. setelah kawat bersih dari lapisan isolasi, kedua ujung nya dijepit pada peralatan pengukuran.
4. Diatur skala pengukuran agar diperoleh hasil pengukuran.

5. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang tepat arus yang akan masuk diatur dengan menggunakan tahanan geser.
6. Alat ukur ampermeter untuk membaca besaran arus beban, sedangkan galvanometer distel menunjukkan angka nol yang berarti beda potensial pada galvanometer adalah 0 Volt, ini artinya sudah terjadi keseimbangan pada jembatan galvanometer.
7. Hasil pengukuran dapat dibaca pada double test.
8. Demikian seterusnya dilakukan sampai beberapa kali percobaan.

Untuk mencari tahanan kawat pada temperature 20°C

$$R_{20} = \frac{234,5 + 20}{234,5 + t} \cdot R_t$$

Untuk mencari tahanan kawat pada temperatur 75°C

$$R_{75} = \frac{234,5 + 75}{234,5 + 20} \cdot R_{20}$$

b. Pengujian Konduktivitas

Alat yang dipergunakan adalah Precision Kelvin Double Bridge Tipe 2752 komplet dengan Galvanometer tipe 2709, slide resistor.

Langkah - langkah pelaksanaan pengujian :

1. Ambil sample kawat yang akan diuji sepanjang kurang lebih 1m, ukurlah diameter kawat tersebut sebelum dan sesudah dibersihkan emailnya lalu jepitkan pada terminal dari alat ukur Double Bridge.
2. Hubungkan alat ukur ke sumber tegangan Aki 12 Volt, melalui tahanan geser (slide resistor) amati besarnya arus yang mengalir agar tidak melebihi arus maksimum dari tapping arus dari alat ukur.

3. Atur tahanan geser dari Double Bridge , sehingga menunjukkan galvanometer pada posisi tegangan (seimbang).
4. Setelah galvanometer seimbang catat pembacaan besarnya tahanan dari konduktor, yang merupakan besarnya tahanan pada panjang 0,5m.
5. Konduktor tersebut kemudian ditimbang dengan alat neraca timbang.
6. Dari data - data tersebut diatas resistansi dan konduktivitas dapat dihitung dengan rumus.

$$\text{Konduktivitas (\%)} = \frac{A}{\frac{R.m}{l^2} + B(20 - t)} \cdot 100\%$$

$$\text{Konduktivitas (\%)} = \frac{C}{\frac{R.m}{l^2} + D(20 - t)} \cdot 100\%$$

Dimana :

R = Tahanan kawat (Ω)

m = Massa (gram)

l = Panjang kawat (m)

t = Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

G = Tekanan (g/cm^3)

A, B, C, D, dan G adalah Konstanta

Tabel 3.5. Nilai – nilai Konstanta Konduktor Jenis Tembaga dan Aluminium

	Tembaga	Aluminium
--	---------	-----------

A	0,017241	0,017241
B	0,000068	0,000113
C	0,153280	0,046552
D	0,000600	0,000310
G	8,890000	2,700000

c. Pengujian Tegangan Tembus (Break Down)

Alat yang dipergunakan adalah Insulation Oil Tester model KPT GMA buatan Jepang.

Langkah - langkah pelaksanaan pengujian :

1. Ambil kawat PVF sepanjang 50cm, dipotong menjadi dua bagian yang sama panjang.
2. Puntir kedua bagian bersamaan, banyaknya puntiran sesuai dengan besarnya diameter kawat.
3. Kedua ujung kawat dijepitkan pada alat Insulation Oil Tester dan ujung kawat lainnya dalam keadaan terbuka.
4. Beri tegangan 500 V/detik perlahan - lahan sehingga sampai terjadi break down pada elektroda. Dan Insulation Oil Tester akan menunjukkan angka berapa tegangan break down.

III.11.1.4. Data Hasil Pengujian.

Data hasil pengujian tersebut diperoleh data - data pengujian sebagai berikut :

1. Data Dimensi Konduktor

Tabel 3.6. Data Dimensi Konduktor

No	Jenis dan Ukuran Konduktor	Berat / 50 cm (gram)
1	PVF. 1,2 mm	4,975
2	PVF. 1,2 mm	5,040
3	PVF. 1,2 mm	5,025

4	PVF. 1,2 mm	5,050
---	-------------	-------

2. Data Tahanan

Tabel 3.7. Data Tahanan

No	Tahanan / 50 cm (Ω)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
1	0,0077876	23
2	0,0076584	23
3	0,0076667	23
4	0,0076431	23

III.11.2. Isolasi Kertas

Metodologi pengujian yang dilakukan adalah eksperimen dan observasi terhadap tegangan tembus (Break Down).

III.11.2.1. Jenis Bahan Uji.

Bahan uji yang digunakan adalah isolasi kertas merek Weidmann jenis Thermopox yang diambil secara random dengan ukuran tertentu, dengan ukuran 4 x 5 cm sebanyak 3 potong.

III.11.2.2. Alat Uji.

Dalam pengujian ini menggunakan alat uji Oil Tester, Input 220 Volt AC, Output 0 – 6 KV, merek KATO, Japan.

III.11.2.3. Tahap Pelaksanaan Pengujian Pada Isolasi Kertas.

Tahap pelaksanaan pengujian isolasi kertas yang dilakukan oleh PT. MORAWA ELECTRIC TRANSBUANA, adalah :

Pengujian Tegangan Tembus (Break Down)

Dalam pengujian ini digunakan alat uji Oil Tester, Input 220 Volt AC, Output 0 – 6 KV, merek KATO Japan.

Langkah - langkah pelaksanaan pengujian

1. Ambil sampel kertas lalu dipotong dengan ukuran 4 x 5 cm sebanyak 3 potong.
2. Panaskan kertas tersebut sehingga mencapai temperatur 125 °C.
3. Masukkan kertas yang telah dipanaskan kedalam gelas Oil Tester.
4. On Oil Tester, lalu tekan tombol UP, maka tegangan yang di baca oleh tester akan naik mulai 0 KV dengan kecepatan 200 Volt / detik sampai terjadi tegangan tembus (Break Down) pada elektroda.
5. Catat tegangan tembus kertas tersebut.
6. Tekan tombol Down sehingga petunjuk dan KV meter menjadi ke angka 0 KV.
7. Tes kembali lembar kertas kedua dan ketiga seperti lembar kertas pertama.
8. Catat hasil percobaan.

III.11.2.4. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Kertas.

Tabel 3.8. Data Hasil Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Kertas

No	Jenis kertas dan tebal kertas	Tegangan tembus (KV) Tanpa Minyak	Tegangan Tembus (KV) Dalam Minyak
1	Thermopox 0,125 mm	3	5
2	Thermopox 0,25 mm	5	7
3	Thermopox 0,5 mm	6	8
4	Thermopox 0,5 m	6	8

BAB IV

ANALISA HASIL PENGUJIAN

IV.1. ANALISA HASIL PENGUJIAN ISOLASI KAWAT

Analisa hasil pengujian ini dimaksudkan sesuai dengan tujuan pengujian meneliti ketebalan isolasi, konduktivitas, diameter konduktor, tegangan tembus, serta dapat mengetahui sifat setiap kondisi tegangan dengan ukuran pengolahan data hasil pengujian sebagai berikut :

IV.1.1. Analisa Hasil Pengujian Tahanan Kawat

Analisa tahanan konduktor berdasarkan tahanan percobaan temperatur dimana besarnya tahanan konduktor pada temperatur 20°C dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$R_{20} = R_x \left(\frac{234,5 + 20}{234,5 + T_k} \right)$$

Atau

$$R_{20} = \frac{R_x \cdot \alpha}{\ell} \cdot 1000 \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana :

R_x = Tahanan Konduktor (Ω)

T_k = Temperatur Kamar ($^{\circ}\text{C}$)

ℓ = Panjang Kawat Pengujian (meter)

α = Koefisien Temperature Tahanan

61

Harga α dapat dilihat pada tabel ini

Tabel 4.1. Harga koefisien Temperatur Tahanan Kawat Tembaga

TEMPERATUR (°C)	Faktor α kawat Tembaga	Temperatur (°C)	Faktor α kawat Tembaga
10	1,041	23	0,989
11	1,037	24	0,985
12	1,033	25	0,981
13	1,028	26	0,977
14	1,024	27	0,973
15	1,020	28	0,970
16	1,016	29	0,966
17	1,012	30	9,926
18	1,008	31	0,959
19	1,004	32	0,955
20	1,000	33	0,951
21	0,996	34	0,948
22	0,992	35	0,944

Dan besarnya tahanan konduktor pada temperature 75°C dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$R_{75} = \frac{234,5 + 75}{234,5 + 20} \cdot R_{20}$$

Berdasarkan data hasil pengujian dapatlah kita peroleh basar tahanan pada temperature 20°C dan 75°C dimana untuk kawat pengujian diambil sepanjang 50 Cm sebagai berikut :

1. Untuk $R_x = 0,0077876 \Omega$ pada $t = 23^\circ\text{C}$ dimana $\alpha = 0,989$, $\ell = 0,5$ meter

Maka tahanan pada 20°C dan 75°C adalah

- Tahanan pada 20°C adalah :

$$R_{20^\circ} = \frac{0,0077876 \times 0,989}{0,5} \cdot 1000$$

$$= 15,3937 \Omega / \text{km}$$

- Tahanan pada 75°C adalah :

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = \frac{234,5 + 75}{234,5 - 20} \cdot 15,3937$$

$$= 18,720 \, \Omega / \text{km}$$

2. Tahanan $R_x = 0,0076584 \, \Omega$ pada $t = 23^{\circ}\text{C}$ dimana $\alpha = 0,898$, $\ell = 0,5$ meter

Maka tahanan pada 20°C dan 75°C adalah :

- Tahanan 20°C adalah :

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{0,00765584 \cdot 0,989}{0,5} \cdot 1000$$

$$= 15,1384 \, \Omega / \text{km}$$

- Tahanan pada 75°C adalah :

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = \frac{234,5 - 75}{234,5 - 20} \cdot 15,1384$$

$$= 18,4099 \, \Omega / \text{km}$$

3. Tahanan $R_x = 0,0076667 \, \Omega$ pada $t = 23^{\circ}\text{C}$ dimana $\alpha = 0,989$, $\ell = 0,5$ meter

Maka tahanan pada 20°C dan 75°C adalah :

- tahanan pada 20°C adalah :

$$R_{20^{\circ}} = \frac{0,006667 \times 0,989}{0,5} \cdot 1000$$

$$= 15,1548 \, \Omega/\text{km}$$

- tahanan pada 75°C adalah :

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = \frac{234,5 + 75}{234,5 + 20} \cdot 15,1448$$

$$= 18,4299 \, \Omega/\text{km}$$

4. Untuk $R_x = 0,0076 \, 431 \, \Omega$ pada $t = 23^{\circ}\text{C}$ dimana $\alpha = 0,989$, $\ell = 0,5$ meter

Maka tahanan pada 20°C dan 75°C adalah :

- Tahanan pada 20°C adalah :

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{0,0076431}{0,5} \cdot 1000$$

$$= 15,1081 \, \Omega/\text{km}$$

- Tahanan pada 75°C adalah :

$$R_{75^{\circ}\text{C}} = \frac{234,5 + 75}{234,5 + 20} \cdot 15,1081$$

$$= 18,3731 \, \Omega/\text{km}$$

Untuk mengetahui kemurnian dari tembaga, maka pada tahanan 75°C tidak boleh melebihi standart yaitu dengan menggunakan rumus :

$$R_{75} = \frac{0,0211415}{A} \cdot 1000 \, \Omega/\text{km}$$

Dimana :

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

Salah satu contoh diambil pada penampang diameter 1,20 mm dimana :

$$A = \frac{3,14}{4} \cdot (1,20)^2$$

$$= 1,1304 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jadi, } R_{75} = \frac{0,0211415}{1,1304} \cdot 1000$$

$$= 18,7026 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Dari perhitungan pada kondisi temperatur 75°C diatas dapat disimpulkan bahwa tahanan konduktor tembaga untuk diameter 1,20 mm masih dibawah standart yaitu melebihi tahanan sebesar 18,7026 Ω/km .

Tabel.4.2. Tahanan Kawat Pada 20°C dan 75°C

No	Tahanan.50cm (Ω)	Tahanan pada 20°C (Ω/km)	Tahanan pada 75°C (Ω/km)
1	0,0077876	15,3937	18,7200
2	0,0076584	15,1348	18,4099
3	0,0076667	15,1548	18,4299
4	0,0076431	15,1081	18,3731

IV.1.2. Analisa Hasil Pengujian Konduktivitas

Untuk mengetahui konduktivitas konduktor tembaga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{A}{\frac{Rx.m}{\ell^2.G} + B(20-t)} .100\%$$

Maka berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui besar konduktivitas konduktor tembaga tiap diameter sebagai berikut :

1. Untuk Rx = 0,0077876 Ω

m = 4,975 gram

ℓ = 0,5 m

T = 23°C

$$= \frac{0,017241}{\frac{0,0077876 \times 4,975}{(0,5)^2 \cdot 8,890000} + 0,000068(20 - 32)} .100\%$$

$$= \frac{0,017241}{\frac{0,038743}{2,2225} + -0,000204} .100\%$$

$$= \frac{0,017241}{0,07228} .100\%$$

$$= 100,07 \%$$

2. Untuk $R_x = 0,0076584 \, \Omega$

$$m = 5,040 \text{ gram}$$

$$\ell = 0,5 \text{ m}$$

$$t = 23^\circ\text{C}$$

$$\sigma = \frac{0,017241}{\frac{0,0076584 \times 5,040}{(0,5)^2 \cdot 8,890000} + 0,000068(20 - 23)} \cdot 100\%$$

$$= \frac{0,017241}{\frac{0,038598}{2,2225} + -0,000204} \cdot 100\%$$

$$= \frac{0,017241}{0,017162} \cdot 100\%$$

$$= 100,45 \%$$

3. Untuk $R_x = 0,0076667 \, \Omega$

$$m = 5,025 \text{ gram}$$

$$\ell = 0,5 \text{ m}$$

$$t = 23 \, ^\circ\text{C}$$

$$\sigma = \frac{0,017241}{\frac{0,0076667 \times 5,025}{(0,5)^2 \cdot 8,890000} + 0,000068(20 - 23)} \cdot 100\%$$

$$= \frac{0,017241}{\frac{0,038525}{2,2225} + -0,0000204} \cdot 100\%$$

$$= 100,65 \%$$

$$4. \text{ Untuk } R_x = 0,0076431 \, \Omega$$

$$m = 5,050 \text{ gram}$$

$$\ell = 0,5 \text{ m}$$

$$t = 23^\circ\text{C}$$

$$\sigma = \frac{0,017241}{\frac{0,0076431 \times 5,50}{(0,5)^2 \cdot 8,890000} + 0,000068(20 - 23)} \cdot 100\%$$

$$= \frac{0,017241}{\frac{0,0138597}{2,2225} + -0,000204} \cdot 100\%$$

$$= \frac{0,017241}{0,017162} \cdot 100\%$$

$$= 100,46 \%$$

Dari hasil perhitungan percobaan 1 sampai 4 terlihat bahwa pentalase konduktivitas adalah rata-rata 100%, berarti tambaga konduktor yang diteliti adalah merupakan tembaga murni sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa konduktor yang diteliti tersebut dapat dipergunakan untuk pembuatan bagian peralatan yaitu sebagai kumparan (coil) suatu transformator.

Tabel.4.3. Konduktivitas (%)

No	Tahanan ($\Omega/50$ Cm)	Konduktivitas (%)
1	0,0077876	100,07
2	0,0076584	100,45
3	0,0076667	100,65
4	0,0076431	100,46

IV.1.3. Analisa Hasil Pengujian Break Down (Tegangan Tembus)

Besarnya batas minimum tegangan tembus untuk kelas 0 yang diizinkan sesuai dengan standart yang dapat dilihat pada table ini :

Tabel.4.4. Batas Minimum Tegangan Tembus Untuk Klas 0

Diameter Konduktor (mm)	Tegangan Tembus Untu Klas 0
0,06 - 0,07	1900 V \leq
0,08 - 0,11	2000 V \leq
0,12 - 0,17	2000 V \leq
0,18 - 0,29	2200 V \leq
0,30 - 0,45	2500 V \leq
0,50 - 0,70	3000 V \leq
0,75 - 1,20	3600 V \leq
1,30 - 2,00	4600 V \leq
2,10 - 3,20	5400 V \leq

Sebagai contoh dapat diambil tegangan tembus (Break Down) pada kawat dengan penampang 1,20 mm sbagai berikut :

$$R_{75} = 18,7026 \Omega/\text{km}$$

Tegangan Tembus = 19 KV

Untuk Konduktor $d = 1,20$ mm yang berada pada daerah : $0,75 - 1,20$ mm, untuk kelas 0 tegangan tembus adalah 3,6 KV

Jadi dari hasil pengujian untuk konduktor tegangan $d = 1,20$ mm dan tegangan tembus 19 KV adalah baik karena diatas harga standart yaitu : 3,6 KV . Demikian seterusnya untuk percobaan yang lain terlihat bahwa keseluruhan tegangan tebus adalah diatas 3,6 KV.

Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa konduktor yang diuji adalah mempunyai isolasi yang baik dan dapat digunakan sebagai peralatan untuk membuat kumparan (coil) suatu transformator.

Tabel .4.5 Hasil Analisa Pengujian Isolasi Kawat

No	Tahanan Rx (Ω)	Konduktivitas (%)	Tegangan Tembus (KV)
1	0,0077876	100.07	19
2	0,0076584	100,45	18
3	0,0076667	100,65	20
4	0,00776431	100,46	17

Dari hasil pengujian dan analisa yang dilakukan sebanyak empat kali, persentase konduktivitasnya diatas 100 % sedangkan tegangan tembus untuk konduktor dengan $d = 1,20$ mm yang berada pada daerah $0,17 - 1,22$ mm untuk kelas 0 yang diijinkan.

IV.2. Analisa Pengujian Isolasi Kertas

Analisa hasil pengujian isolasi kertas ini dimaksudkan dengan tujuan pengujian meneliti tegangan tembus atau break down isolasi kertas ketika didalam minyak dan tanpa minyak isolasi kertas yang diuji adalah merek WEIDMANN jenis Thermopox.

IV.2.1. Analisa Hasil Pengujian Break Down

Dari hasil percobaan untuk isolasi kertas merek WIDMANN jenis Thermopox adalah sebagai berikut :

Untuk isolasi kertas dengan ketebalan atau diameter 0,125 mm tegangan tembus untuk tanpa minyak adalah 3 kV sedangkan dalam minyak adalah 5kV. Sehingga dapat disimpulkan bahwa isolasi kertas yang memiliki diameter 0,125 mm mempunyai batas tegangan tembus yaitu untuk tanpa minyak sebesar 3 kV dan dalam minyak adalah 5 kV jadi isolasi kertas itu baik digunakan jika tegangan yang diberikan untuk tanpa minyak dibawah 3 kV sedangkan didalam minyak dibawah 5 kV.

Demikian seterusnya untuk untuk percobaan yang lain terlihat bahwa keseluruhan isolasi kertas baik digunakan apabila tegangan yang diberikan dibawah tegangan tembus yang tertera didalam data percobaan break down isolasi kertas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN

a. Isolasi Kawat

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian ini adalah diperoleh dari analisa sifat-sifat isolasi dan penghantar suatu konduktor yang didasarkan terhadap tegangan, tahanan, konduktivitas dan jumlah pin hole, yang mana harga-harga dapat diuraikan seperti lampiran hasil pengujian konduktor.

1. Dengan tahanan $R_x = 0,0077876 \Omega$ dari analisa konduktivitasnya $\sigma = 100,07 \%$ dari hasil pengujian, tegangan tambus didapat 19 kV.
2. Dengan tahanan $R_x = 0,0076584 \Omega$ dari analisa konduktivitasnya $\sigma = 100,45 \%$ dari hasil pengujian, tegangan tambus didapat 18 kV.
3. Dengan tahanan $R_x = 0,0076667 \Omega$ dari analisa konduktivitasnya $\sigma = 100,45 \%$ dari hasil pengujian, tegangan tambus didapat 20 kV.
4. Dengan tahanan $R_x = 0,0076431 \Omega$ dari analisa konduktivitasnya $\sigma = 100,46 \%$ dari hasil pengujian, tegangan tambus didapat 17 kV.

Dengan demikian, dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian konduktor menunjukkan bahwa bahan tersebut dapat dipergunakan untuk pembuatan belitan (coil) suatu transformator.

b. Isolasi Kertas

72

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian ini adalah diperoleh dari analisa pengujian break down, yang mana harga-harga tersebut dapat diuraikan seperti lampiran hasil pengujian isolasi kertas.

1. Untuk isolasi kertas thermopox diameter 0,125 mm, tagangan tambus tanpa minyak 3 kV, sedangkan tegangan tembus dalam minyak 5 kV.
2. Untuk isolasi kertas thermopox diameter 0,25 mm, tegangan tembus tanpa minyak 5 kV, sedangkan tegangan tembus dalam minyak 7 kV.
3. Untuk isolasi kertas thermopox diameter 0,5 mm, tegangan tembus tanpa minyak 5 kV, sedangkan tegangan tembus dalam minyak 8 kV.

Dengan demikian, dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian isolasi kertas menunjukkan bahwa bahan tersebut dapat dipergunakan untuk isolasi kertas pada suatu transformator.

V.2. SARAN

Dalam melakukan pengujian terhadap suatu bahan yang akan dipakai pada suatu produk sebaiknya diambil sampel pada daerah yang dianggap kritis. Jika akan menggunakan bahan-bahan untuk suatu produk apakah pada motor-motor listrik,

Generator, transformator dan lain sebagainya, apalagi yang mengenai keselamatan jiwa manusia, agar bahan yang dipergunakan diuji kebenarannya sesuai dengan ketentuan.

Bila bahan yang telah diuji agar diberi tanda apakah bahan tersebut baik atau tidak, untuk menghindari kekeliruan dalam menggunakan bahan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abdul Kadir, Prof. Dr, *"Transformator"*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1981.
2. JIS C 2550 – *"Methods Of The Magnetic Steel Sheet And Strip"*, 1986.
3. JIS C 3002 – *"Testing Methods Of Electrical Copper and Aluminium Wires"*, 1975.
4. JIS C 3203 – *"Polyvinyl Formal Enameled Copper Wires"*, 1966.
5. Syamsir Abduh, *"Teknik Tegangan Tinggi"*, Salemba Teknika, Jakarta, 2001.
6. Stigant, S. Austen C. Eng & A.C Franklin. Eng : *"Tansformator Book"*, 1977.
7. Zuhail, *"Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya"*, PT.Gramedia, Jakarta, 1990.